

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin und
Kriminalistik der Universität Erlangen
Direktor Prof. Dr. Dr. E. Weinig

Untersuchungen zur Diagnostik von Stromeintrittsstellen auf der menschlichen Haut

Inaugural – Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Elisabeth Charlotte Wagner
aus Nürnberg

Erlangen 1961

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin und
Kriminalistik der Universität Erlangen
Direktor Prof. Dr. Dr. E. Weinig

Untersuchungen zur Diagnostik von Stromein-
trittsstellen auf der menschlichen Haut



Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Elisabeth Charlotte Wagner
aus Nürnberg

Erlangen 1961

Aus dem Institut für Geriatrische Medizin und
Kriminallistik der Universität Erlangen
Direktor Prof. Dr. Dr. E. Wehnig

Untersuchungen zur Diagnostik von Strömungs-
störungen auf der menschlichen Haut



Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Königlich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

vorgelegt von
Elisabeth Gertrude Wegner
aus Nürnberg
Erlangen 1961

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. Fragestellung

a. Historischer Überblick	1
b. Berührende Todesursachen	1
c. Der Unfall durch Elektrizität	4
d. Die elektrische Verletzung in der Literatur	5
1. Die Stromstärke im Sinne Jellinek	6
2. Die elektrische Verbrennung	10
3. Die geschichte elektrische Verletzung	11

II. Experimenteller Teil

a. Theoretische Grundlagen	12
b. Angaben über Hautwiderstände	17
c. Lebensgefährliche Spannung und	

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der Universität Erlangen

d. Die wichtigen Daten einer Stromdurchdringung	22
1. Grenzströme	22
2. Stromstärke	23
3. Elektrodenabstand	23
4. Kritische Stromdichte	23
5. Stromflußzeit	25

e. Die Herstellung der Stromdurchdringungen und der Verletzungen	
--	--

Dekan: Professor Dr. Eugen Schreck

f. Referent: Professor Dr. Dr. E. Weinig	26
--	----

g. Das mikroskopische Bild einer Verletzung an Versuchstieren von	
1. Das Stromflußgebiet	29

Tag der mündlichen Prüfung: 14.4.1961

2. Das	30
--------	----



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Tag der mündlichen Prüfung: 14.4.1961

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Fragestellung	
a. Historischer Überblick	1
b. Strombedingte Todesursachen	1
c. Der Unfall durch Elektrizität . . .	4
d. Die elektrische Verletzung in der Literatur	6
1. Die Strommarke im Sinne Jellineks	6
2. Die elektrische Verbrennung . . .	10
3. Die gemischte elektrische Ver- letzung	11
II. Experimenteller Teil	
a. Theoretische Grundlagen	12
b. Angaben über Hautwiderstände . . .	17
c. Lebensgefährliche Spannung und Stromstärke	18
d. Die Versuchsanordnung	19
e. Die wichtigen Daten einer Stromdurchtrittsstelle	22
1. Grenzströme	22
2. Stromstärke	22
3. Elektrodendruck	22
4. Kritische Stromdichte	23
5. Stromflußzeit	23
f. Die Herstellung der Stromeintritts- stellen und der histologischen Schnitte	25
g. Das makroskopische Bild einer Stromeintrittsstelle	26
h. Das mikroskopische Bild erläutert an Versuchsreihen von	
1. 5 sec Stromflußdauer	29
2. 30 sec " 	34
3. 1 sec " 	35

i. Die Verkohlung, ihr Auftreten und ihre Ursache	38
k. Der Einfluß der Elektrodengröße auf das Strommarkenbild	39
l. Die Abhängigkeit des Strommarkenbildes vom Elektrodendruck	40
m. Der Einfluß der Hautanatomie auf das Strommarkenbild	41
n. Das Strommarkenbild auf Leichenhaut mit Totenflecken	41
o. Die thermische Verletzung	43
1. Das makroskopische Bild der thermischen Verletzung	44
2. Das mikroskopische Bild der thermischen Verletzung	45
III. Zusammenfassung der Ergebnisse	49
1. Vergleich der makroskopischen Befunde	49
2. Vergleich der mikroskopisch-histologischen Befunde	51
3. Unterscheidungsmöglichkeiten für elektrische und thermische Verletzungen	55
Bildtafeln	59
Literaturverzeichnis	62

Schon 1906 entstand zwischen BERTHAU und JELLINEK ein heftiger Streit über die Todesursache bei tödlich verlaufenden Stromunfällen. Der Streit ging darum, ob die Todesursache ein primäres und endgültiges Versagen des Herzens sei oder ob es sich um eine vorübergehende Lähmung des Atemzentrums und der Großhirnrinde, also um

I

F r a g e s t e l l u n g

Ia. Historischer Überblick

Im Jahre 1867 hat Werner von SIEMENS der königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin das Prinzip der dynamoelektrischen Maschinen unterbreitet und somit die Möglichkeit für eine elektrische Energieversorgung großen Stils geschaffen. Innerhalb weniger Jahre wurde ein umfassendes elektrisches Netz ausgebaut. Mit der fortschreitenden Elektrifizierung kamen breite Bevölkerungsschichten mit dem elektrischen Strom in Berührung, und es ereigneten sich die ersten Stromunfälle.

1891 wurde zum ersten Mal in der deutschen medizinischen Literatur von FRIEDINGER ein Todesfall durch elektrische Energie beschrieben. Die immer häufiger werdenden Stromunfälle lenkten in steigendem Maße das Augenmerk der medizinischen Fachwelt auf das neu entstandene Problem.

Ib. Strombedingte Todesursachen

Schon 1906 entstand zwischen BORUTTAU und JELLINEK ein heftiger Streit über die Todesursache bei tödlich verlaufenden Stromunfällen. Der Streit ging darum, ob die Todesursache ein primäres und endgültiges Versagen des Herzens sei oder ob es sich um eine vorübergehende Lähmung des Atemzentrums und der Großhirnrinde, also um

einen Scheintod handele, bei dem auch eine psychische Komponente eine Rolle spielt und der bei rechtzeitig und fachmännisch angestellten Wiederbelebungsversuchen in vielen Fällen zu beherrschen ist. Beim "Sekundenherztod" war das natürlich nicht der Fall damals, weshalb die Frage nach der Todesursache, eben wegen der einzuschlagenden Therapie, von großer Wichtigkeit war. Sorgfältige Untersuchungen (JELLINEK, GILDEMEISTER, MORHARDT) der Ursachen und der Entstehungsvorgänge von elektrischen Unfällen lehren, daß in vielen Fällen das elektrische Trauma - rein rechnerisch betrachtet - viel zu unbedeutend war, als daß der Kollaps oder der Tod ohne weiteres dem alleinigen Stromeffekt zur Last gelegt werden könnte. Durch Erhebungen bei Unfallzeugen oder aus Erzählungen Geretteter erfährt man, daß der plötzliche Stromeinbruch die Betroffenen sehr stark aufregte oder gar lähmte, das eine Mal augenblicklich, ein anderes Mal erst nach Sekunden oder Minuten, dann nämlich, wenn sich zu dem Stromeffekt noch der Komplex der Todesangst hinzugesellt hatte. Inwieweit die psychische Komponente bei tödlichen Stromunfällen eine Rolle spielt, läßt sich schwer erfassen. Bekannt ist, daß durch Aufmerksamkeit und Bereitschaft die psychische Komponente gedrosselt werden kann, die Stromverträglichkeit also steigt. Bei Elektroinstallateuren und anderen, die beruflich mit dem Strom zu tun haben, findet man häufig, daß sie, um zu prüfen, ob an einer Leitung Spannung liegt, die 220 V Netzspannung mit der bloßen Hand berühren, ohne einen Schaden davon zu tragen, während Personen, die nicht spannungsgewohnt sind und nicht darauf vorbereitet sind, Spannung anzutreffen, unter denselben Bedingungen tödlich verun-

glücken können, zumindest sich aber sehr heftig elektrisiert fühlen. Die Spannungsverträglichkeit ist aber nicht nur abhängig von der Aufmerksamkeit und der Bereitschaft, sondern auch vom Typus der verunfallenden Person. Nervöse und reizbare Menschen von asthenischem Typ besitzen eine geringe Toleranz (KRATTER, SCHRIDDE, JELLINEK). Wenn auch bei vielen elektrischen Unfällen die verheerende Wirkung des Überraschungsmomentes, das heißt die Schockwirkung zu dominieren scheint (IHDE), welche zuerst das Gehirn und erst nachher die lebenswichtigen Funktionen des Herzens, des Vasomotoren- und Atemzentrums zur Lähmung bringt, so muß doch zugestanden werden, daß bei den meisten elektrischen Unfällen der Ausfall der Funktionen in umgekehrter Reihenfolge sich vollzieht, daß also das Herz primär zum Stillstand kommt (BORUTTAU, ALVENSLEBEN) - was bei Stromstärken von drei Ampère an aufwärts der Fall ist - oder nach einer kurzen Periode des Kammerflimmerns - das sich bei Stromstärken von 75 Milliampère bis 3 Ampère einstellt - erschöpft (ALVENSLEBEN). Diese Tatsache wurde von JELLINEK durch Experimente an chloroformierten Hunden, bei denen durch Anlegen einer Gleichspannung von 110 V Tod durch Herzkammerflimmern auftrat, bewiesen und in Pflügers Archiv bereits 1908 mitgeteilt. Die von TSCHERMAK-SEYSENEGG an der Tierärztlichen Hochschule Wien ausgeführten Versuche an Hunden waren geeignet zu zeigen, daß die Großhirnrinde erst Sekunden nach Aufhören der Zirkulation abstirbt. Er konnte nachweisen, daß die nach elektrischem Trauma durch Herzflimmern gestorbenen Hunde bei Reizung der Großhirnrinde noch ein bis zwei Stunden nach Todeseintritt Bewegungen ausführten.

Es ist also mit Sicherheit anzunehmen, daß auch beim Menschen der Tod durch elektrischen Strom ein Herztod ist. Wenn der Tod eintritt, so geschieht dies meist schlagartig. Nur selten zeigen die Verunglückten noch kurze Zeit nach der Durchströmung Lebenszeichen. Spättodesfälle als direkte Wirkung des Stromes werden nicht beobachtet, dagegen sind sie naturgemäß häufig Folge der sekundären Verletzungen wie Verbrennung oder Sturz.

Pathologisch-anatomisch ergeben sich bei tödlichen Stromunfällen außer äußerlichen Verbrennungen der Haut, die aber häufig fehlen können, keine Befunde. Mikroskopisch sieht man ein geringes Oedem der Lunge mit Abstoßung des Alveolarepithels. Im Gehirn finden sich manchmal punktförmige Blutungen (SETTE, KLEIN).

Ic. Der Unfall durch Elektrizität

Das Verhalten der Menschen bei Berührung einer spannungsführenden Leitung ist verschieden. Manchmal stürzt der Verletzte lautlos zusammen, manchmal erfolgt nach einem Aufschrei Bewußtlosigkeit, die in den Tod übergeht, manchmal bleibt der Verunglückte bei Besinnung, ist jedoch unfähig zu sprechen, zu schreien oder zu atmen. Manche klagen über Schmerzen und das Gefühl, elektrisiert zu werden, oder über einen saueren, metallischen Geschmack im Munde (JELLINEK, GILDEMEISTER, MORHARDT). Über das Verhalten von Herz und Atmung während der Durchströmung beim Menschen ist aus naheliegenden Gründen keine Untersuchung vorhanden. Tierversuche von PIETRUSKY und JANKER ließen erkennen, daß die Herzkammern nach Einschaltung des Stromes

sich zusammenziehen, Herzschlag und Atmung setzen aus. Nach Ausschaltung des Stromes tritt eine Erweiterung aller Herzabschnitte ein. Je nach der Dauer der Durchströmung und der Stärke und Art des Stromes beginnt das Herz unregelmäßig und allmählich wieder regelmäßig zu schlagen oder es erlahmt durch das Flimmern (BORUT-TAU). Die Atmung setzt, wenn der Unfall überstanden wird, erst etwas später wieder ein. Die subjektiven Klagen von Menschen, die eine Stromeinwirkung überstanden haben, sind verschieden und abhängig von etwaigen sekundären Verletzungen. Die meisten klagen über Kopfschmerzen, Benommenheit, Müdigkeit und Schwere in den Extremitäten, andere wieder fühlen überhaupt keine Beschwerden. Objektiv werden ein harter Puls, Herzarhythmien, vertiefte Atmung, Erbrechen und Erregungszustände festgestellt (SCHRIDDE, GILDEMEISTER). Untersuchungen von JAFFE, WILLIS und BACHEM ergaben, daß an einem auf die Gefäßwand einwirkenden Wärmeeffekt in Form der Joule'schen Wärme nicht zu zweifeln ist. Die Ergebnisse der Experimente waren schwere destruktive Veränderungen der Gefäßwände, vor allem im Bereich der Tunica media. Einen anderen Fall von schwerer Gefäßschädigung beschreibt JELLINEK an Hand des Falles eines 59 jährigen Mannes. Einige Stunden nach einer Verletzung von 25000 V Wechselstrom traten am Arm des Patienten Schmerzen und Schwellung, darauf Verschlimmerung des Allgemeinbefindens mit Fieber und Haematurie auf. 18 Stunden post traumam mußte die Extremität abgesetzt werden. Die histologische Untersuchung der Gefäße ergab Proliferation der Intima und ihr anhaftende beginnende Thrombenbildung. An der Stromeintrittsstelle ließen sich keine stärkeren Läsionen der Haut erkennen.

Fälle, bei denen sich ein bleibender Herzschaden ausbildete, sind bekannt (KARTAGENER).

Id. Die elektrische Verletzung in der Literatur

JELLINEK hat sich am meisten verdient gemacht um die Erforschung der Schädlichkeit des Stromes für den Menschen. Die von ihm getroffene Einteilung der elektrischen Verletzungen der Haut in Strommarke, elektrische Verbrennung und gemischte Verletzung wird von anderen Autoren (SCHRIDDE, PIETRUSKY) nicht übernommen. JELLINEK versteht unter der Strommarke eine nur auf die mechanische Wirkung des Stromes zurückzuführende Läsion. Die drei Formen der elektrischen Verletzung nach JELLINEK sind jedoch nicht scharf zu trennen, da immer bei der elektrischen Verletzung eine Wärmewirkung mit anzutreffen ist (JENNY, SCHRIDDE), es sich fast immer um eine gemischte Verletzung handelt, also um eine Hautläsion auf Grund der mechanischen und thermischen Wirkung des Stromes. Es erscheint aber zweckmäßig, die von JELLINEK getroffene Einteilung beizubehalten, da an Hand dieser Einteilung die Formen der elektrischen Verletzungen am besten zu beschreiben sind.

1. Die Strommarke im Sinne JELLINEKS zeigt niemals das Bild einer Verbrennung, nämlich Blasenbildung, Vakuolenbildung, Koagulation oder Oedem, sondern nur Merkmale, die auf eine rein "elektromechanische" Veränderung hinweisen. Die Strommarke ist dadurch gekennzeichnet, daß in ihrem Bereich das Kolorit der Haut verändert ist, die Frabe ist heller, grauweiß bis weiß und von porzellanartigem Schimmer. Die Konsistenz der Haut ist ebenfalls verändert, manchmal per-

gamentartig, meist jedoch plattenartig hart, während die Peripherie der Platte häufig einen ringförmigen Wall zeigt, wodurch die Mitte der Marke dellenartig vertieft erscheint. Manchmal ist die Mitte fein durchlöchert. Die Form der Marke ist weitgehend abhängig von der Form des Leiters, meist aber rund oder oval. In einem von SCHWERT beschriebenen Mordfall, bei dem ein Mann seine Frau, während sie badete, dadurch umbrachte, daß er die metallene Badewanne unter Strom setzte, erlitt die Ermordete horizontal angeordnete, streifenförmige Strommarken, die mit dem Rand der Wasseroberfläche übereinstimmten. Die Strommarke ist schmerzlos und zeigt weder Rötung noch eine sonstige Reaktion von Seiten des Organismus. Ist die Strommarke nur sehr klein, so kommt es vor, daß der Verunglückte, obwohl er einen elektrischen Schlag oder gar eine Bewußtlosigkeit erlebte, nichts von seiner Verletzung weiß. Oberflächliche Strommarken stoßen sich nach Tagen oder Wochen in ihrer ursprünglichen Gestalt aus dem umgebenden Gewebe ab, nachdem sie auch unauffällig die ganze Zeit über getragen wurden. Bewirkte der Stromeintritt einen tiefergreifenden Insult der Haut, so ist es möglich, daß nach Tagen sich ein Substanzverlust bemerkbar macht, der die ursprüngliche Größe der Strommarke um ein Mehrfaches überschreitet. Auch dieser Zerfalls- und Demarkierungsprozeß soll sich ohne wesentliche subjektive Beschwerden vollziehen.

Im Gegensatz zu dieser Ansicht JELLINEKS ist JENNY - und auch SCHRIDDE - der Ansicht, daß Strommarken nicht schmerz- und reaktionslos ausheilen. Die Größe der Strommarke braucht nicht proportional dem durch den Strom im Körper angerichteten Schaden zu sein. Durch elek-

trischen Strom tödlich Verunglückte können nur sehr kleine Strommarken aufweisen, während beim Vorhandensein wesentlich größerer Strommarken keine bleibenden Schäden durch den den Körper durchfließenden Strom verursacht werden.

In der Literatur findet sich die Ansicht, daß es elektrische Dynamik oder "elektrische Mechanik" sei, die dem Gewebe sein pathologisches Gepräge gibt (JELLINEK, KAWAMURA, MIEREMET). Als charakteristische histologische Veränderung der Haut durch den Strom wird eine Ausziehung der Zellen und Zellkerne der Basalschicht angesehen. Die Ausziehung dieser Basalzellen soll durch eine mechanische Aktion zustandekommen und erinnert an die durch elektromagnetische Kräfte gerichteten Eisenfeilspäne. Trotz der starken Kräfte, die diese Ausziehungen der Basalzellen bewirken, scheinen diese auch bei starker Vergrößerung nicht aus der Verbindung mit der Subcutis gelöst zu sein. Als einzige Veränderung in den Schichten unterhalb des Stratum basale wird eine Homogenisierung des Bindegewebes angegeben. JELLINEK beschreibt den Fall eines durch 4000 V Gleichstrom tödlich verunglückten Mannes, der an dem Ellenbogen eine eigenartige Hautverletzung davontrug. Die Haut war an dieser Stelle in ein hartes plattenartiges Gebilde von gelber Farbe umgewandelt, das etwa die Größe von einem Zweimarkstück hatte. Es war gegen die übrige Haut deutlich verschiebbar. Bei der Untersuchung ergab sich, daß die Struktur der Epidermis, Cutis und Subcutis völlig verloren gegangen war und an ihrer Stelle mehrere bandartig parallel übereinandergelagerte Schichten zu erkennen waren. Die Schichten waren durch verschieden weite Fugen voneinander getrennt, erschienen homogen und ließen weder Zellgrenzen noch Kerne erkennen. SCHRIDDE fand bei histologischen Untersuchungen von Strommarken, daß das

Bindegewebe zusammengebacken, zusammengeschmolzen und mit Haematoxylin leicht anfärbbar war.

JELLINEK und KAWAMURA beschreiben weiterhin Stromwege, das sind verzweigte, spaltförmige Zerreissungen des Gewebes, die der Strom bei seinem Durchtritt hinterlassen haben soll, ähnlich den Blitzfiguren; die man in anorganischen Materialien bei Blitzeinschlag gelegentlich findet. JELLINEK beschreibt auch eine spirallige Drehung stromgetroffener Zellen, die in ihrer großen Regelmäßigkeit der Korkenzieher- oder Schraubenform eines vom Blitz getroffenen Kupferdrahtes ähneln. Diese von JELLINEK alle als rein elektrisch bedingt bezeichneten Gewebsveränderungen werden von SCHRIDDE, KOEPPEN und GERSTNER bestritten. Vor allem SCHRIDDE führt die Veränderungen auf Wirkung der Jouleschen Wärme zurück. da er ganz dieselben Bilder auch durch Einstechen einer glühenden Nadel in die Haut eines Kaninchenohres erzielen konnte.

KAWAMURA hat bei histologischen Untersuchungen von Stromeintrittsstellen gefunden, daß eine strahlenförmige Verteilung der mikroskopischen Veränderungen vorhanden ist, die den Eindruck erweckt, daß die Energiewirkung sich in einem kegelförmigen Felde vollzieht. Die Oberfläche der Haut erscheint als Brennpunkt des Kegels, von dem aus die Strahlen auseinandergehen und in die Tiefe der Haut eindringen. In der Tiefe der Haut werden also umfangreichere Partien betroffen, weil der Gang der Strahlen auseinanderweicht. Vergleicht man also den Wirkungsweg der Elektrizität mit einem Strahlenkegel, so müßte man im Brennpunkt des Kegels - das ist die Hautoberfläche - den stärksten Effekt ha-

ben, was auch in Form der Stromeintrittsstelle der Fall ist, während in der Tiefe der Haut geringere, aber verbreitetere Veränderungen sich einstellen, da der Strom sich strahlenkegelförmig verteilt und sich seine Energie so auf einen größeren Querschnitt verteilt.

2. Zur elektrischen Verbrennung kommt es, wenn der die Haut durchtretende Strom so hoch ist, daß sich viel Joulesche Wärme entwickelt. Die Joulesche Wärme errechnet sich aus dem fließenden Strom zu

$$I^2 \cdot R \cdot t$$

wobei I die Stromstärke darstellt, R den Widerstand des durchflossenen Gewebes und t die Stromflußdauer.

Die Wärmeentwicklung steigt also mit dem Quadrat des Stromes, das heißt, eine Verdoppelung des Stromes ergibt die vierfache Wärmemenge, die zu mehr oder minder ausgedehnten Verbrennungen führt. Das Bild einer solchen Stromdurchtrittsstelle mit Verbrennungen kann sehr verschieden aussehen. Die Verletzung kann schürfwundenartig aussehen, oder die Ränder der Wunde können wie mit einem scharfen Messer gesetzt erscheinen, oder es können starke Verkohlungen auftreten (JELLINEK). HOLZER beschreibt den tödlichen Unfall eines Mädchens, das beim Baden eine defekte Heizsonne berührte und an der Schulter, mit der es auf den Abfluß der Badewanne zu liegen kam, eine schwere Verbrennung davontrug. Das Symptom der Schmerzlosigkeit erscheint nicht mehr regulär (SCHRIDDE). Die elektrische Verbrennung zeigt wie jede andere Brandwunde Schmerzen, Neigung zu Entzündung, Wundinfiltration und Anschwellung der regionären Lymphdrüsen. Der Unterschied der elektrischen gegenüber der thermischen Verbrennung besteht darin, daß bei

der thermischen Verbrennung die Wärme von außen zugeführt wird und durch Wärmeleitung ins Innere des Gewebes vordringt, während bei der elektrischen Verbrennung die Energie in elektrischer Form ins Gewebe geführt und dort in Wärme umgesetzt wird. Hierdurch entsteht eine mehr in die Tiefe ausgebreitete Gewebssschädigung, im Gegensatz zu der tellerförmigen Wunde einer thermischen Verbrennung.

3. Bei der gemischten elektrischen Verletzung im Sinne JELLINEKS - und dessen Meinung schließen sich KAWAMURA und MIEREMET weitgehend an - hinterläßt also der Strom bei seinem Durchtritt durch das Gewebe Spuren, die als spezifisch elektrisch bezeichnet werden können, so daß man aus dem makroskopischen und mikroskopischen Bild eine Stromeintrittsstelle eindeutig als solche erkennen kann.

Andere Autoren wie SCHRIDDE, JENNY, KOEPPEN und GERSTNER bestreiten das. KOEPPEN, GERSTNER und SCHRIDDE stellten experimentell fest, daß sich Stromeintrittsstellen weder makroskopisch noch mikroskopisch von Wärmemarken unterscheiden.

Aufbauend auf Erfahrungen von Priv. Doz. Dr. G. SCHMIDT soll auf seine Anregung hin in dieser Arbeit der Versuch unternommen werden, einige Kriterien herauszuarbeiten, die es erlauben, eine Stromeintrittsstelle als solche zu erkennen, und es soll abgegrenzt werden, inwieweit eine Unterscheidung zwischen elektrischer und thermischer Marke möglich ist.

II

Experimenteller Teil

IIa. Theoretische Grundlagen

Es sollen hier die wichtigsten physikalischen Gesetze erläutert und die Definitionen der verwendeten Größen gegeben werden.

Der Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Widerstand ist durch das Ohmsche Gesetz festgelegt.

Es ist

$$I = \frac{U}{R} ,$$

wobei I den fließenden Strom darstellt, der in Ampère bzw. Milliampère angegeben wird, R den Widerstand des durchflossenen Leiters in Ohm bzw. Kiloohm und U die Spannung ist, die an dem Widerstand liegt. U wird in Volt gemessen. Es ergeben sich also folgende Dimensionsgleichungen:

$$\text{Strom } I(\text{A}) = \frac{\text{Spannung } U(\text{V})}{\text{Widerstand } R(\Omega)}$$

oder:

$$\text{Strom } I(\text{mA}) = \frac{\text{Spannung } U(\text{V})}{\text{Widerstand } R(\text{k}\Omega)}$$

Das Ohmsche Gesetz gilt für alle Stromarten, also für Gleichstrom und Wechselstrom jeder Frequenz. Praktisch interessant für Stromdurchtrittsstellen sind nur die technischen Wechselströme mit einer Frequenz von 50 Hertz in den Haushaltungen und Betrieben, zum Teil auch 16 2/3 Hertz in großtechnischen Betrieben, z.B. bei der Bundesbahn. Drehstrom ist für den Stromunfall insofern nicht wichtig, als für den Drehstrom 3 Leiter notwendig sind und 3 Pole wohl selten gleichzeitig berührt werden.

Werden nur ein oder zwei Pole eines Drehstromanschlusses berührt, so fließt ein normaler Wechselstrom von der Frequenz des Drehstromes. Die am häufigsten vorkommende Stromart ist 220 V Wechselstrom.

Durchfließt ein Strom ein Medium, z.B. einen Draht oder das Gewebe, so erzeugt er während der Durchflußzeit Wärme. Diese durch den elektrischen Strom entstandene Wärme nennt man Joule'sche Wärme Q.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t ;$$

dabei wird Q in Wattsekunden gemessen, I stellt den Strom in A und R den Widerstand in Ω dar. t ist die Flußdauer in sec.

Will man die Joule'sche Wärme in cal erhalten, so ergibt sich aus:

$$1 \text{ Wattsec} = 0,239 \text{ cal}$$

$$Q(\text{cal}) = 0,239 \cdot I^2 \cdot R \cdot t ,$$

wobei dem Umrechnungsfaktor die Dimension

$\frac{\text{cal}}{\text{Wattsec}}$ zuzuordnen ist.

Die Joule'sche Wärme ist die Energie, die der Strom in die Haut und das Gewebe transportiert. Sie ist verantwortlich für die Veränderung an den Stromdurchtrittsstellen und somit eine außerordentlich wichtige Größe.

Es muß ein weiterer entscheidender Begriff definiert werden, nämlich der der Stromdichte.

Es ist: $\text{Stromdichte} = \frac{\text{Strom}}{\text{Fläche}} .$

Fließt ein Strom durch eine kleine Elektrode in die Haut, so ist an der Hautoberfläche die Strom-

dichte größer, als wenn derselbe Strom über eine größere Elektrode in die Haut eintreten würde. Man kann sich von der Stromdichte ein Bild machen, das sehr anschaulich ist. Zeichnet man von

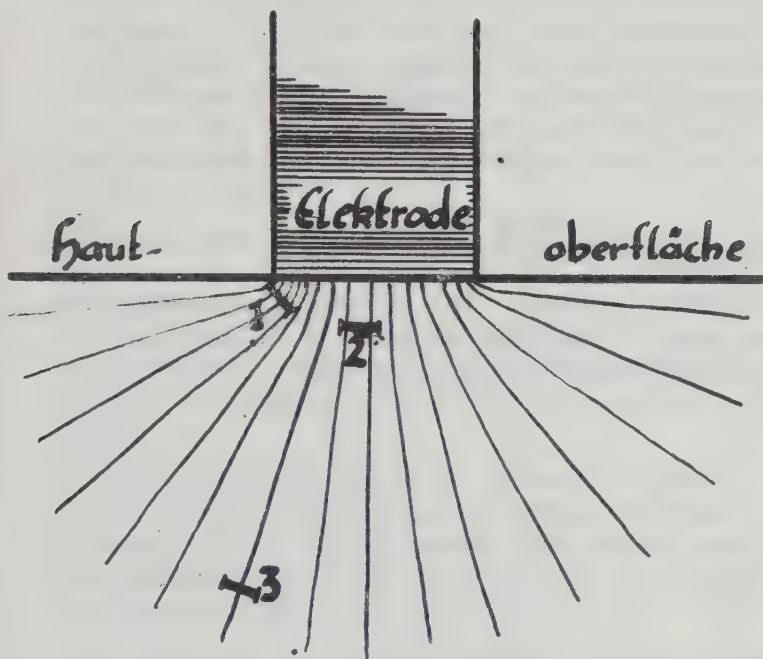


Abbildung 1
Stromlinienbild zur Erläuterung
des Begriffes der Stromdichte
1-2-3 fallende Stromdichte

den Elektroden ausgehend die Stromverlaufslinien in der Haut und dem darunterliegenden Gewebe ein, und zwar so, daß für je eine bestimmte Anzahl von Milliampère eine Stromverlaufslinie da ist, so kann man direkt die Stromdichte ablesen. Dicht

beieinander liegende Linien bedeuten hohe Stromdichte, weit auseinander liegende entsprechend niedrige Stromdichte. Man kann so auch im Innern des Gewebes eine Stromdichte festlegen, man muß nur an der Stelle, an der man sie bestimmen will, eine kleine Fläche senkrecht zur Stromflußrichtung annehmen und den sie durchfließenden Strom ablesen, das heißt, die Anzahl der von der Fläche geschnittenen Stromverlaufslinien abzählen. Es ergibt sich die exakte Definition:

$$\text{Stromdichte} = \frac{\text{Strom}}{\text{Fläche senkr. zur Stromrichtung}} .$$

Voraussetzung hierfür ist, daß das Gewebe an allen Stellen gleiche Leitfähigkeit besitzt, was ja auch, abgesehen von großen Blutgefäßen, die eine bessere Leitfähigkeit haben, der Fall ist.

Die Stromdichte ist sehr wesentlich für die elektrische Verletzung. In Gebieten hoher Stromdichte wird im Gewebe viel Joule'sche Wärme erzeugt und somit eine starke Veränderung hervorgerufen.

Wie man aus dem Ohm'schen Gesetz sehen kann, ist für die Größe des Stromes, der den Körper bei Berühren einer bestimmten Spannung durchfließt, der Widerstand vom spannungsführenden Leiter bis zur Erde maßgebend. Dieser Widerstand setzt sich aus mehreren Bestandteilen zusammen, deren wichtigste der Körperwiderstand und der Widerstand zwischen Körper und Erde sind. Letzterer kann sehr hoch sein, wenn zum Beispiel ein gut isolierender Fußboden vorhanden ist oder Gummisohlen getragen werden. In diesem Falle können auch hohe Spannungen ohne Gefährdung vertragen werden. Der Widerstand zwischen Körper und Erde kann aber auch so

klein werden, daß er gegen den Körperwiderstand vernachlässigt werden kann; das tritt ein, wenn die verunfallte Person im Wasser stand oder mit einem unbedeckten Körperteil einen gut geerdeten Gegenstand berührte. Es ist dann also für den durchtretenden Strom nur der Widerstand des Körpers da. Der Körperwiderstand ist abhängig von der angelegten Spannung.

FREIBERGER hat hierfür ein Diagramm aufgestellt.

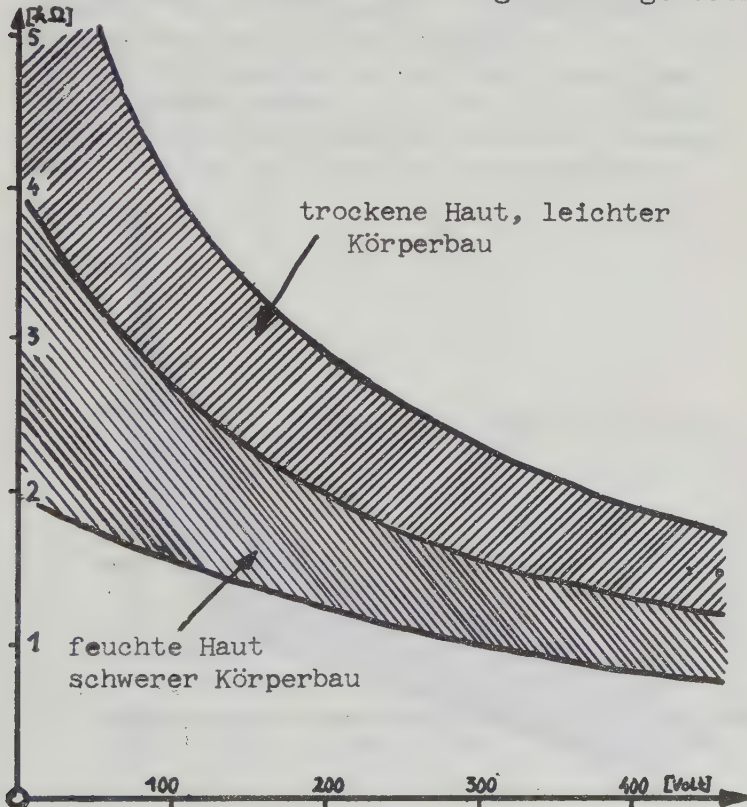


Abbildung 2

Abhängigkeit des Körperwiderstandes von der Berührungsspannung. Nach FREIBERGER

IIb. Angaben über Hautwiderstände

Es wurden eigene Versuche bei niedrigen Spannungen angestellt (bis zu 50 V) und dabei diese Werte größtenteils bestätigt. Lediglich im Bereich sehr niedriger Spannungen (unter 1 V) wurden höhere Widerstandswerte gefunden, was vielleicht auf elektrische Polarisationserscheinungen in der Haut zurückzuführen sein könnte. Vor allem konnte in diesem Gebiet eine außerordentlich große Abhängigkeit des Durchtrittswiderstandes von der Hautfeuchtigkeit nachgewiesen werden, und zwar unterscheiden sich die Widerstandswerte zwischen trockener und feuchter Haut bis über das Zehnfache.

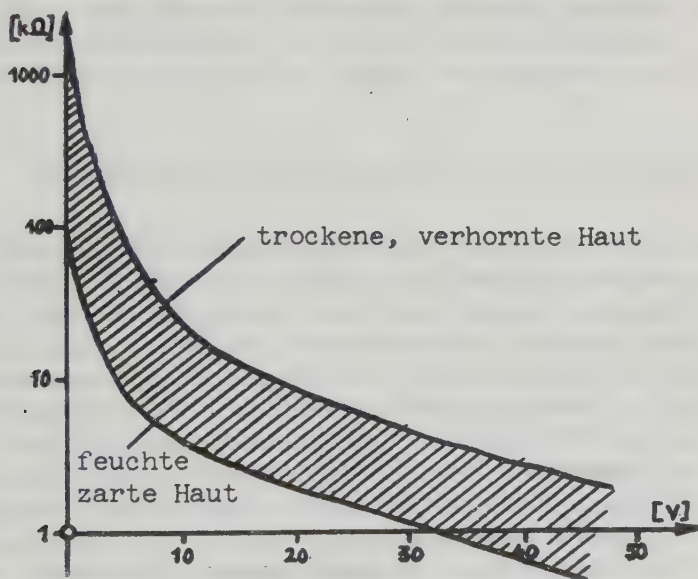


Abbildung 3
Abhängigkeit des Körperwiderstandes
von der Spannung bei niedrigen Spannungen

Die Ergebnisse der durchgeführten Hautwiderstandsmessungen, die in dem Gebiet niedriger Spannungen mit einem Röhrenvoltmeter durchgeführt wurden, sind in einem Diagramm zusammengefaßt.

Als Elektroden wurden ein 10 mm² großer Messingstift und eine 30 cm² große, armbandähnliche Metallelektrode verwendet. Es stellte sich heraus, daß für niedrige Spannungen (1 V) der Körperdurchgangswiderstand unabhängig ist von der Länge des Stromweges. Es war der Widerstand von dem linken Handgelenk zu einem linken Finger gleich dem zu einem rechten Finger, ja, es war auch kein Abfall des Widerstandes erkennbar, wenn man die eine Elektrode der anderen bis auf 1 cm näherte.

Das läßt sich nur so erklären, daß der gesamte Widerstand zum größten Teil durch den Widerstand der beiden Hautdurchtrittsstellen bestimmt wird.

IIc. Lebensgefährliche Spannung und Stromstärke

Die Stärke der Gefährdung einer verunfallten Person hängt ab von dem Strom, der den Körper durchfloß. Die Stromstärke, die ohne Risiko ertragen werden kann, wird von verschiedenen Autoren sehr unterschiedlich angegeben. In den "schriftlichen Mitteilungen der AEG" werden Ströme unter 100 mA als ungefährlich bezeichnet; in Einzelfällen wurden sogar Ströme bis 300 mA lebend ertragen (ALVENSLEBEN und PANSE). LÖBL kam zu dem Ergebnis, daß Ströme über 100 mA tödlich werden können, über 50 mA kann Bewußtlosigkeit eintreten. Als Grenzwert der erträglichen Stromstärke kann 50 mA angenommen werden.

Aus Bild 2 kann entnommen werden, daß der nie-

drigst mögliche Körperwiderstand bei 220 V etwa 1300 Ohm beträgt. Dieser Wert ergibt mit 50 mA als Grenze der gefährlichen Stromstärke eine Spannung von 65 V. Tatsächlich sind auch keine tödlichen Stromunfälle bei einer Spannung unter 65 V in der Literatur beschrieben, und folgerichtig ist auch die Berührungsspannungsgrenze in Deutschland auf 65 V festgelegt. Über die Dauer der Stromeinwirkung bei dieser Spannung toleriert man einige Sekunden.

II d. Die Versuchsanordnung

Es soll im Folgenden das makroskopische und mikroskopische Bild von Stromdurchtrittsstellen untersucht und beschrieben werden und ein Beitrag zu ihrer Erkennung geliefert werden.

Die Untersuchungen wurden im wesentlichen an ein bis drei Tage alter Leichenhaut angestellt. Verwendet wurde Haut von Rücken, Bauch, Knie, Handteller und Fußsohle erwachsener männlicher und weiblicher Leichen. Zuerst wurde ein Kupferdrahtstück als Elektrode verwendet und mit der Hand auf die Haut gesetzt. Dies erwies sich als unzulänglich, da es nicht möglich war, mit der Hand einen konstanten Druck auszuüben, die Aufliegefläche des Drahtes sich folglich ständig änderte und damit die Stärke des einfließenden Stromes. Bei diesen Vorversuchen zeigte sich, daß das Bild einer Strommarke abhängig ist von Elektrodengröße und Stromflußdauer. Um eine definierte Stromdurchtrittsstelle zu erhalten, ist eine Versuchsanordnung notwendig, die es ermöglicht, diese wichtigen Größen zu messen.

Zu diesem Zweck wurde ein Gerät konstruiert, das über einen Schutzkontaktstecker an die 220 V Wechselstrom der städtischen Stromversorgung angeschlossen werden kann. Am Eingang des Gerätes liegt ein doppelpoliger Hauptschalter; eingeschaltet leuchtet eine Kontrollglühlampe auf. Der spannungsführende Leiter kann durch einen 3-Stufenschalter wahlweise direkt oder über einen festen Widerstand von 170 Ω oder über einen nach Belieben regelbaren Widerstand, der über zwei Buchsen angeschlossen wird, mit der Elektrode verbunden werden. So können die die Haut durchfließenden Ströme durch Änderung des Widerstandes in weiten Grenzen geändert werden. Die zwischen den Elektroden herrschende Spannung und der fließende Strom können durch Wechselstrominstrumente gemessen werden. Ein Arbeitskontakt in der spannungsführenden Leitung, an dessen Stelle auch eine Zeitschaltuhr eingeklemmt werden kann, erlaubt es, einen Strom für eine gewünschte Zeitdauer mittels der Elektrode auf die Haut einwirken zu lassen.

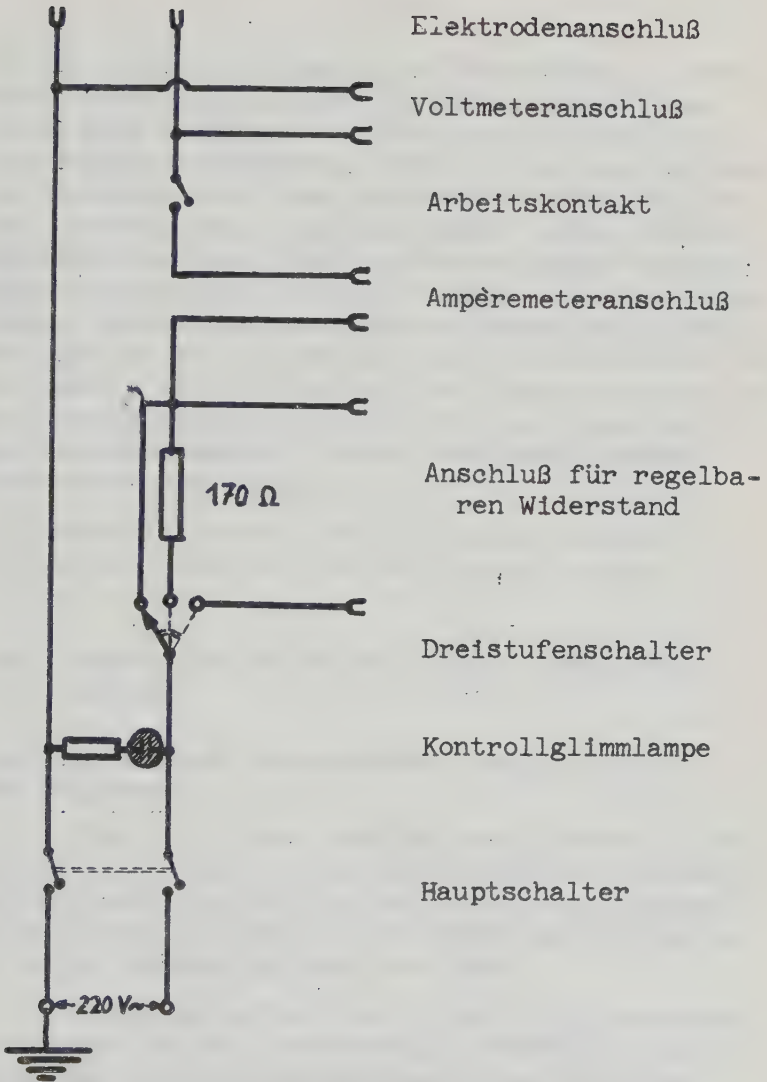


Abbildung 4
S c h a l t s k i z z e

Um ein exaktes Aufliegen der Elektroden zu erreichen, wurde ein kleines Tischchen gebaut, das durch eine Bohrung in die Mitte der Platte den Elektroden eine Führung gibt. In der Bohrung läuft ein Hartgummirohr, das oben ein kleines Plateau zur Aufnahme von Gewichten trägt; unten können die verschiedenen Profile der spannungsführenden Elektrodenformen befestigt werden. Als Elektroden werden Massivmessingstücke mit einer Auflagefläche von 64 mm^2 und 200 mm^2 Fläche, sowie eine runde Kupferelektrode von 100 mm^2 Fläche und eine bügelförmige Kupferelektrode von 2 cm Länge und 2,3 mm Drahtdurchmesser, sowie eine nadelförmige Stahlelektrode verwendet.

Als Gegenelektrode diente ein großes geerdetes Blechstück, auf das die Haut gelegt wurde.

IIe. Die wichtigen Daten einer Stromeintrittsstelle

Die beschriebene Versuchsanordnung erlaubt nun das Folgende:

1. Die in die Haut eintretenden Ströme in weiten Grenzen meßbar zu verändern und den Minimalstrom festzustellen, der in erkennbarer Weise die Haut lädiert, ebenso die Stromstärke, die gerade zu einer Verkohlung der Haut führt.

2. Eine kontinuierliche Folge von Stromdurchtrittsstellen mit wachsenden Stromstärken zu schaffen, die die Veränderungen des makroskopischen und mikroskopischen Bildes bei den verschiedenen Stromstärken erkennen läßt.

3. Durch verschieden starke Belastung der Elek-

troden die Druckabhängigkeit der elektrisch bedingten Hautveränderungen festzustellen.

4. Eine Berechnung der kritischen Stromdichte.

Unter kritischer Stromdichte versteht man den Strom pro Flächeneinheit, der zu einer bestimmten Veränderung der Haut führt, z.B. zu eben erkennbarer Veränderung oder zu Verkohlung. Für eine Strommarke sind nicht nur Stromstärke und Flußdauer, sondern auch die Elektrodenaufliegefläche ausschlaggebend: Fließt nämlich ein bestimmter Strom über eine großflächige Elektrode in die Haut, so muß er andere Veränderungen hervorrufen, als wenn er durch eine kleinere Fläche eingetreten wäre. Durch diese Überlegungen gelangt man zu dem Begriff der kritischen Stromdichte.

Um ihn experimentell festzulegen, wurden mehrere Versuchsreihen mit verschiedenen Elektrodenaufliegeflächen durchgeführt. Für jede Elektrode wurde die Grenzstromstärke für gerade noch sichtbare Veränderungen, volle Ausbildung der Strommarke und beginnende Verkohlung festgestellt. Es ergaben sich je nach Größe der Elektrode verschiedene Grenzstromstärken. Die kritische Stromdichte für gerade noch sichtbare Veränderungen, Ausbildung des Vollbildes der Strommarke und beginnende Verkohlung ergeben sich aus dem Quotienten:

$$\text{kritische Stromdichte} = \frac{\text{Stromstärke}}{\text{Elektrodengröße}} ;$$

mit der zweckmäßigen Dimension mA/mm^2 .

5. Die Abhängigkeit von der Stromflußzeit

Es soll untersucht werden, inwieweit die Fluß-

zeit des Stromes einen Einfluß auf das Bild der Stromdurchtrittsstelle hat. Man könnte vermuten, daß bei gleichem Produkt (Strom) mal Zeit immer das gleiche Strommarkenbild entsteht, da bei (Strom) mal Zeit = constant die ins Gewebe transportierte Energie immer dieselbe ist und diese Energie die Veränderungen im Gewebe hervorrufen muß. Tatsächlich hat sich aber herausgestellt, daß dies nur für Zeiten unter 5 sec gilt. In dieser kurzen Zeit ist nämlich der Abtransport von Energie so klein, daß die zugeführte Energie ungeschmälert das Gewebe verändert. Anders verhält es sich bei langdauernder Einwirkung des Stromes: Zunächst hat es sich bei Zeiten über 30 sec ergeben, daß die Gewebsveränderungen von der Dauer des einwirkenden Stromes im wesentlichen unabhängig sind, das heißt, es ergibt sich nahezu das gleiche Bild, ob nun der gleiche Strom 30 sec oder 60 sec eingewirkt hat. Zur Erklärung muß man annehmen, daß sich nach 30 sec ein Gleichgewicht einstellt zwischen der durch die Elektroden zugeführten und der durch das Gewebe einfließenden Energie. Ob dieser Energieabtransport eine rein thermische Ableitung ist oder ob noch andere, etwa elektrische Komponenten dabei beteiligt sind, muß einer gesonderten Untersuchung vorbehalten bleiben.

Fließt der Strom weniger als 5 sec, so wird in dieser kurzen Zeit nur ein vernachlässigbar kleiner Teil der Energie ins umliegende Gewebe abtransportiert. Es bestimmt also die gesamte Energie das Bild der Stromeintrittsstelle, das heißt gleiches Produkt (Strom) mal Zeit ergibt gleiches Bild, sofern die Zeit kleiner als 5 sec. ist.

Unter Berücksichtigung der oben dargelegten Gesichtspunkte wurden über 300 Strommarken gesetzt, an denen die makroskopischen und mikroskopischen

Untersuchungen durchgeführt wurden.

II f. Die Herstellung der Stromeintrittsstellen und der histologischen Schnitte

Um brauchbare Stromdurchtrittsstellen und schöne Schnitte zu erhalten, kann man folgenden Weg einschlagen:

Man nimmt ein mindestens 50 cm^2 großes Hautstück von einer Leiche, die nicht älter als drei Tage sein soll. Am besten eignen sich Hautstücke von Oberschenkel oder Knie, Rücken, Bauch, Handteller oder Fußsohle - die Haut sollte nicht zu zart sein. Man präpariert sie mit dem Fettgewebe ab und schneidet sie auf eine einheitliche Dicke von 1,5 cm bis 2 cm, sodaß die Hautoberfläche eben ist, wenn das Versuchsstück jetzt auf die große, geerdete Blechelektrode gelegt wird. Ist die Haut feucht oder blutverschmutzt, so empfiehlt es sich, sie mit Zellstoff oder mit einem Tuch trockenzureiben. Hierauf wird die gewünschte Elektrode auf die Haut gebracht und mit Gewichten belastet, um ein Abgleiten zu verhindern. Wird die Elektrode stärker belastet, so kann man gleichzeitig die Abhängigkeit des Strommarkenbildes von dem Elektrodendruck feststellen. Nun muß noch der Schutzwiderstand gewählt werden, der die Größe des fließenden Stromes festlegt (zwischen 0 und $3k\Omega$). Jetzt kann der Strom für die gewünschte Zeit eingeschaltet werden; während dessen wird die Höhe des Stromes und der Spannung abgelesen. Es sind hierzu - besonders bei kurzen Stromflußzeiten - zwei Personen notwendig. Bleibt die Stromstärke während dieser Zeit etwa konstant - Änderungen von bis zu 10% können toleriert werden - so kann die entstandene

Strommarke verwendet werden. Sie wird photographiert, wobei eine schräge Beleuchtung mit Nitro-photlampen zweckmäßig ist und dann in einer 25% Formalinlösung mindestens 36 Stunden fixiert. Durch den Prozeß der Fixierung schrumpft die Haut etwa um 20%. Aus der fixierten Haut können nun die Schnitte angefertigt werden. Aus der Stromdurchtrittsstelle wird ein Streifen von 4 mm Breite herausgeschnitten. Der Schnitt muß durch das Zentrum der Stromeintrittsstelle gelegt werden und der Streifen soll auf jeder Seite etwa um 5 mm über die Veränderung hinausreichen. Von der anderen Seite der Stromeintrittsstelle können Flachschnitte angefertigt werden. Man präpariert von dem herausgeschnittenen Hautstreifen das Fettgewebe ab, wobei aber genau darauf geachtet werden muß, daß das darüberliegende Bindegewebe nicht mit entfernt wird. Mit dem Gefrieremikrotom werden dann 20 μ dicke Schnitte gemacht und je zwei mit Haematoxylin-Eosin und Haematoxylin-Sudan anfärbt. Die günstigere Färbung ist die Haematoxylin-Eosin-Färbung, die in Kanadabalsam eingebettet wird. Zum Trocknen sollen die Deckgläser belastet werden.

Von den über 300 gesetzten Strommarken - die Marken wurden mit Zeiten von 1/10, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 sec. gesetzt - wurden über 500 histologische Schnitte angefertigt und untersucht.

IIg. Das makroskopische Bild einer Stromeintrittsstelle

Wenn im praktischen Fall entschieden werden soll, ob ein Stromtod vorliegt, so muß zuerst die Haut auf Veränderungen untersucht werden, die Stromdurchtrittsstellen darstellen könnten.. Es ist deshalb notwendig, die makroskopische Form einer

Stromdurchtrittsstelle zu kennen, und schon an dem Aspekt einer Hautveränderung läßt sich vielfach sagen, ob es sich um eine strombedingte Veränderung handeln könnte.

Wirkt nur ein sehr kleiner Strom (bis 10mA/mm^2) auf die Haut ein, so sieht man, falls überhaupt eine erkennbare Veränderung vorhanden ist, das Negativ der Elektrode auf der Haut abgebildet. An dieser Stelle hat die Haut eine grau-weißliche Farbe und zeigt manchmal eine Einebnung und Verstreichung der Papillen, besonders am Rande der Elektrode. Die Haut ist im Bereich des Elektrodennegativs derber. Sonstige Veränderungen sind bei kleinen Strömen nicht zu sehen.

Siehe Abbildung 5, Seite 59

Schwache Strommarke entstanden durch eine Stromstärke v. 10 mA/mm^2 u. 5 sec. Flußdauer

War der durchfließende Strom stärker (ab 15mA/mm^2), so entsteht rund um den Elektrodenrand eine porzellanartige Veränderung, die wallartig die Elektrodenaufliegefläche umgibt, sodaß diese wie in den Wall versunken aussieht. Auf der Außenseite dieses Wallles, der sich derb anfühlt und leicht in der Haut hin und her zu schieben ist, zeigen sich deutliche Zugstreifen, die in radiärer Richtung auf das Zentrum der Hautveränderung zulaufen; sie sind ausgeprägter, je stärker der porzellanartige Wall ist. Dieser kann sehr große Ausmaße annehmen, besonders bei langer Stromeinwirkungsdauer. Er kann bis zum Fünffachen den Elektrodendurchmesser übertreffen. Bei stark ausgeprägtem Wall tritt an dessen äußerem Rand ein hochroter Ring auf.

Siehe Abbildung 6, Seite 59

Strommarke entstanden durch eine Stromstärke v. 31 mA/mm^2 u. 5 sec. Flußdauer

Fließt ein verhältnismäßig hoher Strom (etwa 50 mA/mm²) eine kurze Zeit, so sinkt die Elektrode in die Hautoberfläche ein und die Gebiete unter der Elektrode erscheinen eingeschmolzen, was auch später im histologischen Bild gut zu erkennen ist. Unter der Elektrodenaufliegefläche ist die Haut manchmal heller oder dunkler bräunlich verfärbt. Dies dürfte auf eine beginnende, partielle Verkohlungs zurückzuführen sein. Unter kupferhaltigen Elektroden kommt es häufig zu einer grünen Hautverfärbung, wobei es sich nach JELLINEK um eine Einlagerung von fettsauerem Kupfer handelt.

Bei nicht allzukurzer Einwirkung von Strom kommt es am Rande der Elektrode häufig zu einer Blasenbildung, die die Elektrode kranzförmig umgibt (siehe Abb. 6).

Übersteigt die Stromstärke einen gewissen Wert (etwa 70 mA/mm²), so tritt eine Verkohlung der Haut ein. Das äußert sich beim Setzen der Strommarke durch Funkenbildung und Geruch nach verbranntem Gewebe. Die Größe der Verkohlung ist abhängig von den Aufliegeverhältnissen der Elektrode auf der Haut und von der Hautbeschaffenheit. Trockene Haut mit einem starken Stratum corneum neigt zur Verkohlung, feuchte und dünne Haut mehr zur Blasenbildung. Liegt die Elektrode nicht fest auf der Haut auf, wie es bei geringem Elektrodenaufdruck und sehr welliger Haut leicht passieren kann, so tritt unter Umständen sehr bald eine Verkohlung auf. Das ist so zu verstehen, daß ein nicht sauberes Aufliegen, wie es auch bei Verankerten der Elektrode vorkommt, zu einer Verkleinerung der tatsächlichen Elektrodenaufliegefläche führt. Wird die Elektrode stark auf die Haut gepreßt, ist also der Elektrodenaufdruck groß, so liegt die ganze Fläche der Elektrode der Haut fest an und es können wesentlich höhere Ströme

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

die Haut durchfließen, ohne daß es zu einer Verkohlung kommt, weil der Strom durch die gesamte Elektrodenfläche eintreten kann und es nicht partiell zu einer so hohen Stromdichte kommt, daß eine Verkohlung entstehen kann.

IIh. Das mikroskopische Bild, erläutert an Versuchsreihen von 5, 30, 1 sec Stromflußzeit

Von den gesetzten Stromeintrittsstellen wurden Serien mit steigender Stromstärke ausgewählt und von diesen histologische Präparate angefertigt, um die Entwicklung der histologischen Veränderungen bei wachsender Stromstärke studieren zu können. Im Ganzen wurden über 500 Präparate geschnitten, gefärbt und untersucht. Die Präparate wurden zu einzelnen Versuchsreihen zusammengefaßt, und zwar wurden steigende Stromstärken bei fester Elektrode und konstanter Stromflußdauer zusammengefaßt.

Auf Grund obiger Erörterungen, in denen schon dargelegt wurde, daß Stromflußzeiten von 5 sec und 30 sec charakteristische Stromflußzeiten darstellen, sollen im Folgenden entsprechende Versuchsreihen diskutiert werden.

1. Als Vergleichsstandart wird eine Versuchsreihe bei einer Stromflußdauer von 5 sec gewählt. Die Versuche wurden mit einer 10 mm^2 großen Kupferelektrode angestellt. Makroskopische und mikroskopische Veränderungen treten gleichzeitig auf, und zwar bei einer Stromstärke von 10 mA/mm^2 . Die Veränderungen beginnen im Stratum basale. Man sieht hier als erstes eine Veränderung an den Zellkernen, die sich teils in Form einer ovalen Ausziehung, teils in Form einer Schrumpfung präsentiert. Die Schrumpfung zeigt

sich vor allem in den unmittelbar an das Stratum basale angrenzenden Bindegewebsschichten. Die ausgezogenen Zellen des Stratum basale sind häufig büschelförmig angeordnet.

Abbildung 7, Seite 59
Ausziehung und büschelförmige Anordnungen der Zellen des Stratum basale;
Kernschrumpfungen

Gleichzeitig mit diesen Zellveränderungen tritt an den Bindegewebsfibrillen unmittelbar unterhalb des Stratum basale eine im Polarisationsmikroskop erkennbare Strukturveränderung auf. Die Bindegewebsstruktur erscheint aufgelockert, vergrößert, die feine netzartige Verknüpfung der Fibrillen in ein grobes Maschenwerk umgewandelt. Die Bindegewebsfibrillen selbst scheinen verbacken und bandartig zusammengelagert und zeigen manchmal eine merkwürdige Querstreifung. Es soll hier bemerkt werden, daß es bei der mikroskopischen Untersuchung von Stromdurchtrittsstellen unerlässlich ist, ein Polarisationsmikroskop zu verwenden und die Schnitte zuerst zwischen den gekreuzten Nikols zu betrachten, da so auch geringe Veränderungen schnell ins Auge fallen.

Abbildung 8, Seite 60
Bindegewebsveränderung hervorgerufen
durch einen Strom von 15 mA/mm^2 und
5 sec Flußdauer

Die Kapillaren des Papillarkörpers im Bereich dieser Bindegewebsveränderungen sind blutleer und kollabiert, sie erscheinen wie ausgepreßt. Das Bindegewebe ist an den vergrößerten und aufgelockerten Stellen verbreitert gegenüber dem unversehrten Bindegewebe, doch hat es an Reißfestigkeit eingebüßt.

Erhöht man die Stromstärke auf 15 mA/mm^2 oder mehr, so erscheinen neue Zeichen der Stromeinwirkung. Man sieht nun eine Lösung der Cutis von der Subcutis im Stratum germinativum in Form kleiner Rißbildungen, die den Anfang der Blasenbildung darstellen. Die Form der Papillen ändert sich, sie werden verzerrt und abgeflacht, sodaß die Grenze zwischen Papillarkörper und Bindegewebe - sonst eine wellenförmige Linie - als eine gerade Linie imponiert.

Bei einer Stromstärke von etwa 20 mA/mm^2 an aufwärts beginnen die Zellen des Stratum basale zu langen, fast fadenförmigen Gebilden ausgedehnt zu werden, die in büstenförmiger Anordnung stehen. Diese Veränderung greift in den meisten Fällen über den Elektrodenrand hinaus in die umgebenden Teile der Cutis hinein, was oft mit einer Blasenbildung in der Umgebung der Elektrode Hand in Hand geht. Häufig ist eine Hochziehung des Epithels zu sehen, die entweder allein oder zusammen mit Blasen angetroffen wird. Auch an diesen Stellen sind starke Zellverzerrungen zu sehen. Unter der Elektrode ist in vielen Fällen die wellenförmige Struktur des Papillarkörpers völlig zerstört und nicht mehr zu erkennen. Das Stratum germinativum ist verschwunden, die Kerne der Zellen der oberen Bindegewebsschicht erscheinen geschrumpft und zerstört.

War der eingetretene Strom sehr klein und sind die Befunde im Stratum germinativum der Haut unsicher, so gibt die Untersuchung des Bindegewebes im Polarisationsmikroskop weiteren Aufschluß. Es ist deutlich eine Vergrößerung der Struktur zu erkennen. Die Fibrillen sind zu groben, häufig parallel geschichteten Bändern zusammengelagert. Hierdurch ist das feine Geflecht der Bindegewebfibrillen gelockert, wodurch die Festigkeit

des Gewebes geschwächt ist. Man bemerkt beim Anfertigen der Schnitte, daß das Gewebe an Stellen des Stromeintrittes, an denen ja diese Veränderungen im Bindegewebe sitzen, leicht reißt. Die Vergrößerung und Auflockerung tritt bei schwachen Strömen nestförmig unter den Rändern der Elektrode auf.

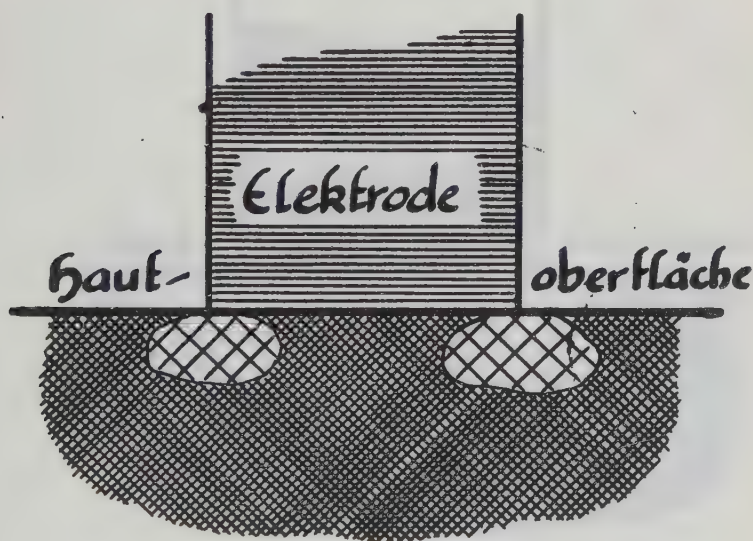


Abbildung 9.

Nestförmige Anordnung der Bindegewebsveränderungen unter den Rändern der Elektrode bei kurzer Stromflußdauer.

Wächst die Stromstärke, dann breitet sich die Strukturvergrößerung unter der ganzen Elektrode aus. Auch ist zu beobachten, daß mit steigendem Strom die Veränderung mehr und mehr in die Breite und Tiefe greift.

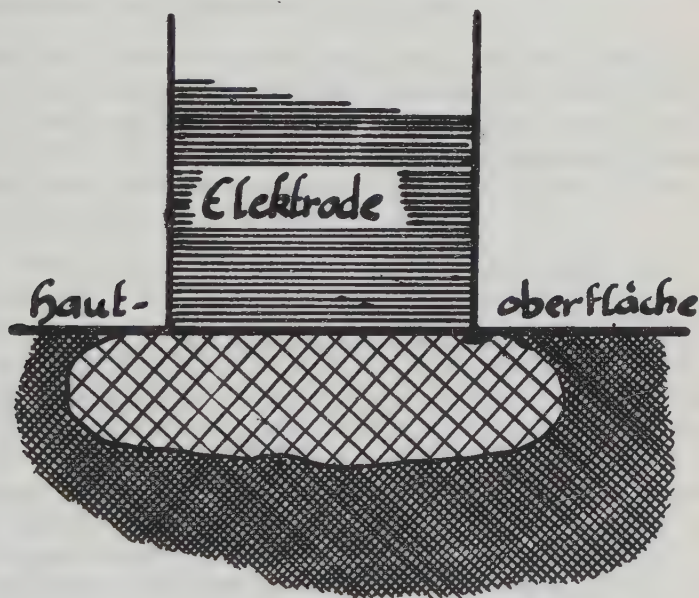


Abbildung 10,
Anordnung der Bindegewebsveränderung unter
der ganzen Elektrode bei langer Stromfluß-
dauer

Die vorerwähnten Versuche wurden durchgeführt mit einer 10 mm^2 großen, ebenen und runden Kupferelektrode und einer Stromflußdauer von 5 sec.

Es soll nun untersucht werden, inwieweit eine Änderung der Stromflußdauer und der Form der Elektrode das Bild der Stromdurchtrittsstelle beeinflußt. Um zu übersichtlichen Ergebnissen zu gelangen, wurden diese beiden Parameter unabhängig voneinander systematisch geändert.

Zuerst soll nun die Abhängigkeit von der Stromflußzeit beschrieben werden. Es wurde wieder mit der 10 mm^2 Kupferelektrode gearbeitet. Von den umfangreichen Versuchen sollen zwei Versuchsreihen beschrieben werden, nämlich die mit einer Stromflußdauer von 30 sec und 1 sec.

2. Bei einer Flußdauer von 30 sec liegt die Stromstärke, bei der gerade die ersten sichtbaren Veränderungen auftreten, bei 5 mA/mm^2 . Das histologische Bild von 30 sec Flußdauer und 5 mA/mm^2 entspricht genau dem Bild, das entsteht bei einer Flußdauer von 5 sec und einer Stromstärke von 10 mA/mm^2 . Man erkennt also die Ausziehungen und Schrumpfungen der Zellen und Kerne im Stratum basale und in den unmittelbar darunterliegenden Bindegewebsschichten; die Gefäße sind blutleer und im Polarisationsmikroskop sieht man Strukturvergrößerung und Auflockerung des Bindegewebes.

Bei Stromstärken ab 13 mA/mm^2 kommen zu diesen Veränderungen Zerreißen im Stratum germinativum und beginnende Blasenbildung bzw. Hochziehung des Epithels, verzerrte und abgeflachte und teilweise zerstörte Papillen, Übergreifen der Zellausziehungen über den Rand der Elektrode und eine büstenförmige Anordnung der ausgezogenen Zellen hinzu. Besonders deutlich ist hier die Strukturveränderung des Bindegewebes bei Untersuchungen im Polarisationsmikroskop.

Ab Stromstärken von 20 mA/mm^2 an aufwärts ändert sich der Befund im Polarisationsmikroskop insofern etwas, als die Bindegewebsveränderungen nun die Größe der Elektrodenaufliegefläche weit übertreffen, manchmal um das Vier- bis Fünffache.

Abbildung 11, Seite 60

Bindegewebsveränderung durch einen Strom von 20 mA/mm^2 u. 30 sec Flußdauer. Man sieht an der eingesunkenen Hautoberfläche, wo die Elektrode aufgelegt hat, daß die Bindegewebsveränderungen weit über die Elektrodenaufliegestelle hinausreichen.

Dieser mikroskopische Befund stimmt überein mit dem makroskopischen Bild der Stromeintrittsstelle. Der porzellanartige Wall um die Elektrode herum ist wesentlich größer als die Elektrodenaufliegefläche. Außerhalb des Walles ist ein scharfer hochroter Ring zu sehen; im mikroskopischen Bild sind an dieser Stelle die Kapillaren prall gefüllt (vergl. Abb. 6).

3. Bei einer Stromflußdauer von 1 sec beträgt die minimale Stromstärke, bei der Veränderungen im histologischen Aufbau der Haut zu sehen sind, 18 mA/mm^2 . Es sind wieder dieselben Veränderungen, wie sie oben bei längeren Stromflußzeiten beschrieben wurden, nämlich Ausziehung der Zellen und Zellkerne des Stratum germinativum, Kernschrumpfung in den unmittelbar an das Stratum basale angrenzenden Bindegewebschichten, abgeflachte und verzerrte Papillen und blutleere Gefäße. Im Polarisationsmikroskop sind hier nestförmige Veränderungen des Bindegewebes am Rande der flächenförmigen Elektrode festzustellen.

Bei etwa 27 mA/mm^2 sieht man außerdem Blasenbildung, verzerrte und abgeflachte oder fehlende Papillen, starke, seitlich über den Rand der Elektrode hinausgreifende Ausziehungen der Zellen des Stratum germinativum und eine büschelförmige Anordnung dieser langgezogenen Zellen und Kerne. Im Polarisationsmikroskop ist als auffälliger Befund eine Verbreiterung der nestförmigen Bindegewebsveränderungen, sowie eine zarte regelmäßige Querstreifung der verbreiterten und zusammengebackenen Fibrillen zu sehen. Ein Ineinanderüberfließen der nestförmigen Veränderungen unter den Elektrodenrändern ist bei kurzen Stromflußzeiten selbst bei sehr hohen Stromstärken nicht festzustellen. Fließt ein Strom nur kurze Zeit, so genügt eine Stromstärke, die bei längerer Einwirkung zu starken Bindegewebsveränderungen unter der gesamten Elektrode geführt hätte, nicht, um auch unter der Mitte der Elektrode Bindegewebsveränderungen hervorzurufen, sondern es kommt eben nur zu den nestförmigen Veränderungen unter dem Rand der Elektrode. Versucht man durch Erhöhung der Stromstärke auch Veränderungen unter der Mitte der Elektrode zu erzielen, so tritt eine heftige Verkohlung am Rande der Elektrode auf, die eine weitere Erhöhung des Stromes sinnlos macht, da eventuelle Bindegewebsstrukturveränderungen durch die Verkohlung überdeckt werden.

Auf Grund der bisher beschriebenen Ergebnisse der drei Versuchsreihen mit 1 sec, 5 sec und 30 sec Stromflußzeit und weiterer umfangreicher Versuche mit Stromflußzeiten zwischen 0,1 sec und 60 sec können nun Kurven aufgestellt werden, die es erlauben, das Auftreten bestimmter Gewebsveränderungen an Stromeintrittsstellen in Abhängigkeit von Stromflußzeit und Stromstärke abzulesen.

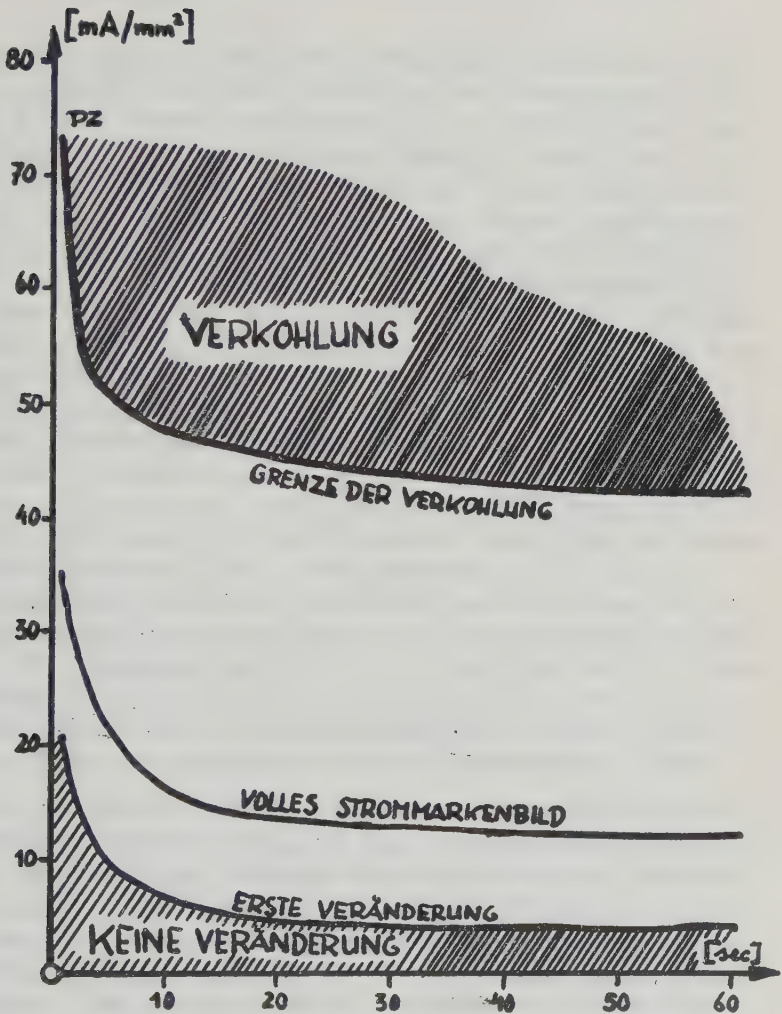


Abbildung 12.
Abhängigkeit der Gewebsveränderungen
von Strom und Zeit

III. Die Verkohlung, ihr Auftreten und ihre Ursache

Übersteigt die Flächenstromdichte einen Wert von 70 mA/mm^2 , so tritt sofort eine Verkohlung auf, die sich durch Funkenbildung und Geruch nach verbranntem Gewebe kenntlich macht. Liegt die Flächenstromdichte unter 30 mA/mm^2 , so tritt auch bei sehr langer Stromflußdauer keine Verkohlung auf. Liegt die Flächenstromdichte zwischen 40 mA/mm^2 und 70 mA/mm^2 , so ist zum Erreichen einer Verkohlung eine mit sinkender Flächenstromdichte wachsende Zeit notwendig (siehe Abb. 12). In manchen Fällen treten beim Setzen der Strommarke an begrenzten Stellen Verkohlungen auf, obwohl die aus fließendem Strom pro Elektrodenfläche errechnete Flächenstromdichte für eine Verkohlung nicht ausreichen würde. Das ist so zu erklären, daß lokal eine viel höhere Flächenstromdichte auftreten kann, dadurch, daß die Elektrode nicht genau waagrecht aufliegt, sodaß der eintretende Strom sich nicht über die gesamte Elektrodenfläche verteilt, sondern vorzüglich an den Stellen mit besserem Kontakt eintritt, wodurch eben hier eine besonders hohe Flächenstromdichte erzielt wird, die dann an dieser Stelle zur Verkohlung führt.

Tritt eine Verkohlung auf, so sinkt die Stromstärke erheblich ab, da die entstandene verkohlte Schicht dem eintretenden Strom einen höheren Widerstand entgegensetzt. Häufig bildet sich unter der Elektrode infolge der aus der elektrischen Energie gebildeten Joule'schen Wärme eine Blase. Der Blaseninhalt, bestehend aus verdampfendem Gewebswasser, isoliert die Blasenhaut von ihrer Unterlage, sodaß der Strom nicht senkrecht direkt in das Gewebe eindringen kann, sondern gezwungen wird, in der Blasenhaut bis zum Blasen-

rand zu laufen. Dabei treten hohe Flächenstromdichten in der Blasenhaut auf, die zu ihrer Verkohlung führen. Man kann die Blasenbildung verhindern und damit die Verkohlung hinauszögern, indem man die Elektrode belastet.

IIk. Der Einfluß der Elektrodengröße auf das Strommarkenbild

Die bisher besprochenen Versuche wurden mit einer runden, ebenen Elektrode von 10 mm^2 großer Auflagefläche durchgeführt. Der Einfluß der Elektrodengröße auf das Bild der Strommarke soll nun beschrieben werden an Hand der Ergebnisse von Versuchsreihen mit verschiedener Stromstärke und Stromflußzeiten zwischen $1/10$ und 60 sec.

Es wurden dabei folgende Elektroden verwendet:

Zwei runde und ebene Messingelektroden von
 64 mm^2 Auflagefläche und
 200 mm^2 Auflagefläche,

eine bügelförmige Kupferelektrode von
20 mm Länge und 2,3 mm Drahtdurchmesser,

sowie eine nadelförmige Stahlelektrode.

Es stellte sich heraus, daß die verschiedenen Elektrodenmaterialien im histologischen Bild nicht zu erkennen sind, makroskopisch erscheint bei Kupferelektroden unter der Auflagefläche in der Haut manchmal eine grünliche Einlagerung. Dabei handelt es sich nach JELLI-NEK um fettsaueres Kupfer. Die verschiedenen Elektrodenprofile sind auf der Haut erkennbar. Betrachtet man bei einer Stromflußdauer von 5 sec die Stromstärken, die bei den einzelnen Elektroden zu bestimmten Veränderungen führen,

um Beispiel zu erster erkennbarer Schädigung oder zu beginnender Verkohlung, so findet man bei verschiedenen Elektrodengrößen verschiedene Stromstärken, und zwar bei großen Elektroden große, bei kleinen Elektroden kleine Stromstärken. Das ist verständlich, da die Stärke der Veränderungen ja bedingt wird durch die Flächenstromdichte, das heißt durch den Strom pro mm^2 .

II. Die Abhängigkeit des Strommarkenbildes von dem Elektrodendruck

Um die Abhängigkeit des Bildes der Stromeintrittsstelle von dem Elektrodendruck ausfindig zu machen, wurden die Elektroden belastet, und zwar mit Gewichten zwischen 50 gr und 2500 gr. Im histologischen Schnitt zeigte sich eine mehr oder minder starke Zusammenschichtung der Bindegewebsfibrillen unter der Elektrode, die zwischen den gekreuzten Nikols gesehen werden kann.

Abbildung 13, Seite 60

Zusammenschichtung des Bindegewebes durch Elektrodendruck

Weiter wurden noch Strommarken auf Hautstücke gesetzt, die unter starkem Zug standen (bis 10 kg/cm^2). Es konnten keine durch den Zug bedingten Veränderungen nachgewiesen werden. Das erscheint zunächst verwunderlich, doch wenn man sich überlegt, daß die durch den Strom auftretenden Hautläsionen praktisch immer konform gehen mit Zerreißungen im Stratum germinativum, die zur Veränderung führenden Kräfte also die Zerreißfestigkeit der Haut übersteigen, so kann man sich vorstellen, daß Zugkräfte von 10 kg/cm^2 , die bei weitem nicht die Festigkeitsgrenze der Haut erreichen, nicht zu sichtbaren Veränderungen genügen.

IIIm. Der Einfluß der Hautanatomie auf das Strommarkenbild

Die Anatomie der Haut hat auf das Strommarkenbild insofern einen Einfluß, als eine dicke Hornschicht dem Strom einen großen Widerstand entgegengesetzt. Eine dicke Hornschicht bewirkt einmal, daß bei gleicher Spannung weniger Strom in das Gewebe eindringen kann, und somit in den unter der Hornschicht gelegenen Hautschichten weniger Schaden angerichtet wird, als wenn derselbe spannungsführende Leiter mit einer zarten Hautpartie, zum Beispiel mit dem Unterarm, berührt würde, zum andern aber entsteht durch den hohen Widerstand der Hornschicht mehr Wärme und es kommt hier leichter zu Verbrennung und Verkohlung. Auch die Beschaffenheit des Bindegewebes ist von Wichtigkeit. In einem festen Bindegewebe ist die Auflockerung und Strukturvergrößerung besser zu sehen als in einem schon von Natur aus lockeren und fett-durchwachsenen Bindegewebe. Doch sind auch hier Vergrößerung und Zusammenbacken der zarten Fibrillen erkennbar.

IIIn. Das Strommarkenbild auf Leichenhaut mit Totenflecken

Unter den herausgeschnittenen Leichenhautstücken befanden sich auch solche mit Totenflecken. Strommarken, die in den Bereich der Totenflecken gesetzt wurden, zeigten grundsätzlich kein anderes Bild. Man sah auch hier das typische Bild wie bei Strommarken auf Haut ohne Totenflecken, also die dellenartige Vertiefung in der Mitte der Strommarke, darum herum die wallartige Erhebung von porzellanartigem Schimmer, die hier ge-

gen die livide Umgebung besonders schön abstach, den roten Ring an der Grenze des Wallies und die radiär gestellten Zugstreifen. Das histologische Bild unterscheidet sich nicht vom histologischen Bild von Strommarken auf Haut ohne Totenflecken. Die Totenflecken selbst sind im Mikroskop als besonders starke Füllung der Gefäße und häufig als postmortale Kapillarblutungen zu sehen, jedoch nicht im Bereich der Strommarke. Ebenso wie es in einer Haut ohne Totenflecken der Fall ist, sind im Bereich der Strommarke die Gefäße blutleer und das Blut in die Peripherie der Strommarke verschoben, was sich makroskopisch als roter Ring, mikroskopisch als besonders starke Gefäßfüllung an dieser Stelle präsentiert.

Von dem Institut für gerichtliche Medizin zu Erlangen, an dem diese Arbeit entstand, wurden uns freundlicherweise histologische Präparate von Strommarken, die am Lebenden entstanden waren, zur Verfügung gestellt. Bei der Durchsicht dieser Präparate fanden wir im wesentlichen dieselben Veränderungen wie bei Strommarken, die auf Leichenhaut gesetzt wurden, also Ausziehungen der Zellen und Zellkerne des Stratum basale, Kernschrumpfungen, Blasenbildung und teilweise auch Verkohlungen. Es ergab sich jedoch in Bezug auf die Gefäßfüllung ein Unterschied. Wie oben beschrieben wurde, fanden sich bei postmortal gesetzten Strommarken die Gefäße stets leer und das Blut an die Peripherie verschoben. Hier bei am Lebenden entstandenen Strommarken war dieser Befund nicht regelmäßig zu erheben. In vielen Fällen war kein Unterschied in der Gefäßfüllung zwischen Strommarke und umgebendem Gewebe zu erkennen. Dies mag eine Erklärung darin finden, daß der Verunglückte nach dem Stromeinbruch noch einige Sekunden lebte und so die Herzkraft das Blut wieder in die Gefä-

Be trieb, oder aber, daß der Gefäßtonus der umliegenden Gefäße wieder eine Füllung der zuerst ausgepressten Gefäße bewirkte.

Die Durchmusterung der zur Verfügung gestellten Präparate und die Erkennung der Stromeintrittsstelle war nicht immer leicht, weil durch die Schnittechnik das Bindegewebe zum größten Teil entfernt worden war. Deshalb können auch keine Aussagen über Bindegewebsveränderungen bei am Lebenden entstandenen Strommarken gemacht werden.

IIc. Die thermische Verletzung

Die thermischen Verletzungen wurden wie die Strommarken auf Leichenhaut gesetzt, und zwar wurde wieder Haut vom Rücken, Bauch, Knie, Fußsohle und Handteller männlicher und weiblicher Erwachsener verwendet. Die thermischen Marken wurden mit denselben Metallstücken angefertigt, die vorher als Elektroden Verwendung fanden. Das herauspräparierte und geebnete Hautstück wurde auf einen Holzteller gelegt. Zur Feststellung der Temperatur wurden die Metallstücke in Glyzerin gebracht und dieses erhitzt. Da Glyzerin bei 290°C siedet, konnte also das Metallstück auf jede gewünschte Temperatur bis 290°C gebracht werden. Die Temperaturen wurden mit einem Thermometer abgelesen. Höhere Temperaturen wurden an der Glühfarbe des Metalles abgeschätzt. Sobald das Metallstück die gewünschte Temperatur erreicht hatte, wurde es mit einer Zange auf die Haut gehalten. Auf diese Weise konnten temperaturmäßig abgestufte thermische Verletzungen gesetzt werden. Die Haut wurde anschließend weiterbehandelt wie bei den Versuchen mit Strommarken, also fixiert, die Marken

auf dem Gefriermikrotom geschnitten und mit Haematoxylin-Eosin und Haematoxylin-Sudan gefärbt.

Die Versuche wurden in dem Zeitraum zwischen 1/10 und 5 sec Einwirkungsdauer gemacht. Die erhitzten Metallstücke länger auf der Haut zu belassen, erschien zwecklos, einmal, da bei Unfällen wohl selten der heiße Gegenstand länger als 5 sec berührt wird, zum andern, da nach sehr kurzer Zeit das Metall bereits zu erkalten beginnt.

1. Das makroskopische Bild der thermischen Verletzung

Hat das auf die Haut gelegte Metallstück etwa 100°C , so entsteht noch keine Blasenbildung, man sieht nur eine grauweiße Verfärbung, die das Negativ des Metallstückes darstellt, im Niveau der Haut. Die so veränderte Hautstelle ist derb und gut in der Hautebene verschieblich. Die Hautfellede rung ist meist verstrichen.

Abbildung 14, Seite 59
Verbrennung mit 150°C

Ab etwa 200°C sieht man eine Blasenbildung, die sehr große Ausmaße annehmen kann und besonders am Rande der Brandmarke gelegen ist. Die Blasenbildung kann so groß sein, daß sie über die eigentliche Brandmarke, das heißt über den Bezirk, in dem das erhitzte Metallstück auflag, bis zu 5 mm hinausreichen kann.

Abbildung 15, Seite 61
Verbrennung mit 300°C

Man gewinnt den Eindruck, daß das Gewebswasser zum Kochen kommt, denn es findet eine Dampfentwicklung statt und die Blasen platzen mitunter. Am Rande der Brandmarke sind die Verbrennungserscheinungen

stärker als in der Mitte. Dies ist besonders deutlich zu sehen bei der Verkohlung, deren Grenze bei 400 bis 500°C liegt. Die Verkohlung beginnt stets am Rande der Brandmarke, dort also, wo das aufgesetzte Metallstück am stärksten aufliegt. Durch das festere Aufliegen entsteht ein besserer Wärmekontakt, womit die am Rande stärkere Verkohlung zu erklären ist. Es ist verständlich, daß, wenn eine Verkohlung auftritt, das Metallstück in die Haut einbrennt und die Brandmarke nicht mehr im Niveau der Haut liegt, sondern tiefer.

Abbildung 16, Seite 61

Verkohlung bei einer Verbrennung mit 500°C

2. Das mikroskopische Bild der thermischen Verletzung

Die histologischen Veränderungen der Haut bei einer Verbrennung mit etwa 100°C sind sehr gering und fallen nur dem Geübten ins Auge. Das Stratum corneum ist eventuell dem Normalen gegenüber etwas aufgelockert und ausgefranst, manchmal sieht man Hitzewaben im Gewebe. Als Hitzewaben bezeichnet man eine Hohlraumbildung im Gewebe. Die Hohlräume sind glattwandig, rund bis oval und bilden sich vermutlich auf Grund des durch die Hitze entstandenen Dampfes. Die Gefäße im Bereich der Brandmarke sind weitgehend blutleer. Im Polarisationsmikroskop ist eine Veränderung des Bindegewebes nicht mit Sicherheit festzustellen. Dies wird erst deutlich bei Verbrennungen über 200°C. Man sieht nun zwischen den gekreuzten Nikols unter der Aufliegefläche des heißen Metallstückes im Bindegewebe Veränderungen, die sehr ähnlich sind denen, die oben bei den Strommarken ausführlich beschrieben worden sind, nämlich eine Vergröße-

rung der Bindegewebsfibrillen, die wie zusammengebacken aussehen, und eine Auflockerung der feinen netzförmigen Verknüpfung.

Diese Veränderung ist flach-tellerförmig und nie größer als die Auflagefläche des erhitzten Metallstückes (siehe auch Abb. 11, Seite 60)

Abbildung 17, Seite 60

flach-tellerförmige Bindegewebsveränderung
bei einer Verbrennung mit 200°C

Bei normaler Beleuchtung sieht man im Mikroskop Zerreißung im Stratum germinativum, Blasenbildung und Zellausziehungen, auch im Bereich der Blasen, also über den Rand der Auflagefläche des erhitzten Metallstückes hinausreichend. Ist keine Blasenbildung vorhanden, so hören die Zellausziehungen in jedem Falle am Rande der Brandmarke auf; unmittelbar beginnt wieder die normale Hautstruktur. Die langgezogenen und parallel gestellten Zellen sind häufig büstenförmig angeordnet.

Abbildung 18, Seite 61

Brandverletzung mit 150°C. Zell- und Kernausziehung im Bereich der Blase

Die Papillarlínie des Stratum germinativum ist somit verzerrt, teilweise verbreitert, teilweise abgeflacht. Die Gefäße sind blutleer.

Bei Verbrennungen mit 300 bis 400°C sieht man außer diesen Veränderungen, daß die Papillen teilweise sogar völlig fehlen, wie eingeschmolzen erscheinen. Man bemerkt außerdem Veränderungen an den Zellkernen des Bindegewebes in Form von Schrumpfung und Zerreißung. Die Grenze der Verkohlungs liegt bei etwa 500°C.

Die Versuche, deren Ergebnisse soeben beschrieben

wurden, wurden mit einem Kupferstück von einer 10 mm^2 großen Auflagefläche und einer Auflagezeit von 1 sec angestellt. Verlängert man die Zeit, so ergeben sich keine wesentlich anderen Veränderungen, was verständlich ist, da ja das Metallstück rasch abkühlt und somit nur noch niedrigere Temperaturen zur Geltung kommen. Diese niedrigeren Temperaturen können natürlich, da schon vorher eine höhere Temperatur eingewirkt hatte, keine stärkeren als die schon vorhandenen Veränderungen mehr bewirken.

Verwendet man statt des erhitzten Metallstückes von 10 mm^2 großer Auflagefläche andere, zum Beispiel solche mit einer Auflagefläche von 64 mm^2 , 200 mm^2 oder eine spitze Nadel, so ergeben sich auch keine anderen Veränderungen, nur daß die Größe und die Form der Veränderungen abhängig ist von der Größe und der Form des verwendeten Metallstückes. Zu bemerken ist, daß, wenn man eine glühende Nadel durch die Haut bis in das Bindegewebe hinein einsticht, sich hier eine kugelförmige Anordnung der Bindegewebsveränderungen um die Nadelspitze herum findet. Dies ist verständlich, da ja hierbei die Wärme direkt in das Bindegewebe gebracht wird und nicht erst das Stratum germinativum durchqueren muß.

Um das Verhältnis von der Größe der Brandmarke zu der Tiefe der Bindegewebsveränderungen angeben zu können, wurden Flachschnitte angefertigt. Die Veränderungen sind am stärksten in den an das Stratum germinativum direkt angrenzenden Bindegewebsschichten und haben hier etwa den Durchmesser der Auflagefläche des erhitzten Metallstückes. Nach der Tiefe zu nehmen die Veränderungen an Stärke und Umfang rasch ab. Sie sind nur bis zu 2 - 3 mm Tiefe anzutreffen.

Das oben bei der Beschreibung der histologischen

Gewebsveränderungen der Strommarken in Bezug auf die Abhängigkeit von Elektrodendruck, Hautanatomie und Totenflecken gesagte, gilt genauso für

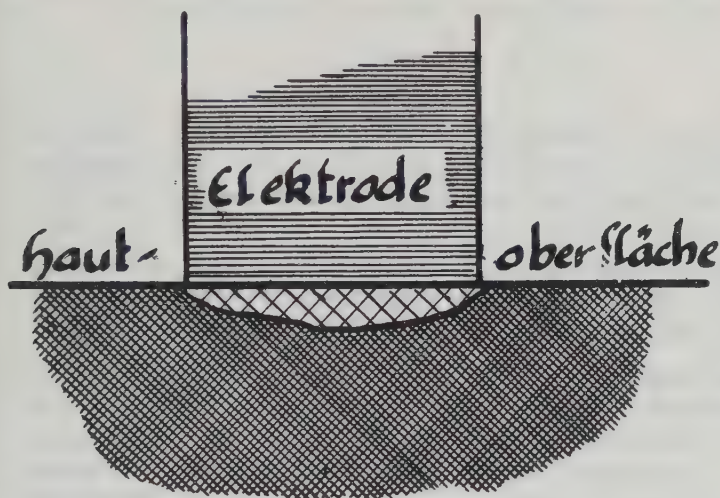


Abbildung 19,
flach-tellerförmige Ausbreitung der Bindegewebsveränderung bei therm. Verletzungen

die Brandmarken. Man sieht bei Brandmarken, bei denen ein Druck ausgeübt wurde, Zusammenschichtung des Bindegewebes unter dem erhitzten Metallstück. In Bezug auf die Hautanatomie ist zu sagen, daß gleiche Temperatur auf Haut mit dicker Hornschicht zu geringeren Verbrennungen führt als auf zarter Haut. Im Bereich von Totenflecken sehen Verbrennungen genau so aus wie auf Haut ohne Totenflecken.

III

Zusammenfassung der
Ergebnisse

An über 400 histologischen Präparaten von Strommarken, die mit Stromstärken zwischen 5 mA/mm^2 und 100 mA/mm^2 und Stromflußzeiten zwischen $1/10$ sec und 30 sec auf Leichenhaut gesetzt wurden, sowie an über 100 Präparaten von Verbrennungen mit Temperaturen zwischen 100°C und etwa 600°C wurden vergleichende Untersuchungen angestellt.

Viele Forscher, vor allem JELLINEK, KAWAMURA und SCHRIDDE haben sich mit dem Problem der histologischen Veränderungen von Stromeintrittsstellen beschäftigt. SCHRIDDE, KOEPPEN und GERSTNER untersuchten experimentell gesetzte Strom- und Brandmarken und kamen zu dem Ergebnis, daß weder im makroskopischen noch im mikroskopischen Bild ein Unterschied besteht.

Das Ziel unserer Untersuchungen war es, Gemeinsames und Unterschiede zwischen thermischen und elektrischen Verletzungen herauszufinden, um eine Aussage darüber machen zu können, ob es möglich ist, eine elektrische und eine thermische Verletzung am makroskopischen und histologischen Bild zu unterscheiden. Hierbei hat sich folgendes ergeben:

1. Vergleich der makroskopischen Befunde

Das makroskopische Bild einer schwachen Strommarke ähnelt weitgehend dem einer schwachen Verbrennung mit etwa 100°C . Es kommt lediglich unter der Elektrode bzw. unter dem heißen Gegenstand zu einer grauweißen Haut-

veränderung, die gut in der Haut verschieblich ist und das Negativ des aufgelegten Metallstückes darstellt. Das Hautrelief im Gebiet dieser Veränderung ist abgeflacht. Die Unterscheidung zwischen einer schwachen Strommarke und einer schwachen thermischen Verletzung ist also schwierig, wenn man nur das makroskopische Bild betrachtet. Das für Strommarken eigentümliche Bild, das bei längerem Einwirken des Stromes oder Durchfließen eines kurzen hohen Stromes entsteht und schon von JELLINEK, SCHRIDDE, KAWAMURA, MIEREMET u.a. beschrieben wurde, wird geprägt durch einen ringförmigen, porzellanartigen Wall, der die Elektrodenaufliegefläche umgibt. Diese erscheint in ihm etwas eingesunken. Der Wall kann sehr große Ausmaße annehmen und dazu führen, daß die Strommarke um ein Mehrfaches größer ist als die Berührungsstelle mit dem spannungsführenden Leiter. Ein solches Bild konnten wir bei einer thermischen Verletzung nicht beobachten. Die Hautveränderung ist, wenn keine Blasen hinzukommen, nicht größer als die Aufliegefläche des heißen Gegenstandes. Man kann deshalb wohl mit JELLINEK, KAWAMURA und MIEREMET sagen, daß das makroskopische Bild spezifisch elektrisch ist und keine Parallelen in der Pathologie hat, da es verschieden ist von Hautveränderungen, die durch andere Schädlichkeiten (z.B. Infektion, Insekten oder Hitze) bewirkt werden. Hat man also das oben beschriebene Bild in ausgeprägter Form vor sich, so kann man mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß der elektrische Strom die Ursache war. Man kann jedoch nicht, wenn man keine Strommarke in der typischen Form sieht, die Möglichkeit eines elektrischen Unfalles ausschließen (KLEIN).

2. Vergleich der mikroskopisch-histologischen Befunde:

Die histologischen Veränderungen sind nun in jedem Falle ausgedehnter als die tatsächliche Stromeintrittsstelle, das heißt größer als die Aufliegefläche der Elektrode (JELLINEK, KAWAMURA).

Von den bei normaler Beleuchtung im Mikroskop erkennbaren Veränderungen erscheint als wichtigste und auffälligste Veränderung die im Stratum germinativum. Das Stratum germinativum stellt das Keimzentrum der Haut dar und es ist verständlich, daß dieses empfindliche Gewebe am leichtesten und ersten geschädigt wird. Die Zellkerne des Stratum germinativum, vor allem aber die Kerne des Stratum basale, der tiefsten Schicht des Stratum germinativum, präsentieren sich nach Schädigung durch Strom oder durch Hitze als langgezogene, manchmal fast fadenförmige Gebilde. Diese langgestreckten Zellkerne liegen nicht regellos durcheinander, sondern stehen in büstenförmiger Anordnung senkrecht zur Hautoberfläche. Diese von JELLINEK gefundenen und von anderen Forschern (SCHRIDDE, MIEREMENT, KAWAMURA, JENNY, MEIXNER, RIEHL, KLEIN, KOEPPE und GERSTNER) immer wieder bestätigten Veränderungen konnten wir in allen Fällen von Strommarken und von Brandmarken sehen. Vor allem JELLINEK, KAWAMURA und MIEREMENT glaubten nun, daß diese Veränderungen spezifisch elektrisch seien und bei keiner anderen Verletzung als bei der durch Elektrizität anzutreffen wären. Bis 1921 war auch SCHRIDDE dieser Ansicht. Weitere Forschungen in dieser Richtung veranlaßten ihn jedoch, seine Meinung zu ändern und die Kernausziehungen des Stratum germinativum allein einer Hitzewirkung zuzuschreiben. KOEPPE und

GERSTNER kamen 1935 zu denselben Ergebnissen. Zwischen diesen beiden extremen Ansichten steht die Meinung der Forscher RIEHL, JENNY, MEIXNER und KLEIN. Sie glauben, daß außer einer Wärmewirkung doch auch noch ein elektrischer Faktor eine Rolle spielt.

Ist die verformende Kraft, durch die diese Zellveränderungen bewirkt werden, stärker, so zerreißen die langgezogenen Zellen und es kommt zu Rißbildungen im Stratum germinativum. Diese Spaltbildung stellt die Vorstufe der Blase dar. Zu Blasen kommt es bei thermischen und elektrischen Verletzungen, doch ist sie bei thermischen Verletzungen viel stärker. Es ist nun interessant, daß die langgezogenen Zellen im Blasenbereich (Blasengrund und -rand) senkrecht zur Hautoberfläche angeordnet sind, in der Blasenhaut dagegen parallel zur Oberfläche. Das ist folgendermaßen zu erklären: Beim Ablösen der Haut entsteht ein Zug senkrecht zur Oberfläche, der die Zellen und die Zellkerne in dieser Richtung langzieht; ist die Blasenhaut abgelöst, so wird durch den entstehenden Blaseninhalt und durch Dampfentwicklung die Blasenhaut - und damit die Zellen - parallel zur Oberfläche gedehnt.

Eine Folge der Zellveränderungen im Stratum germinativum ist, daß die wellenförmige Linie, mit der die Cutis in der Subcutis verankert ist, unregelmäßig wird. Die Papillen des Rete Malpighii sind verzerrt, verbreitert oder verschmälert (JELLINEK, KAWAMURA, RIEHL), manchmal sogar reißt das gesamte Rete Malpighii aus seiner Verzahnung mit dem Bindegewebe. Findet eine Verkohlung statt, so scheinen die Papillen völlig verschwunden, wie eingeschmolzen.

Aber nicht nur im Stratum germinativum sieht man Zellkern- und Zellveränderungen, sondern auch im d a r u n t e r l i e g e n d e n B i n d e g e w e b e . Bei elektrischen und bei thermischen Verletzungen sieht man, daß die Zellkerne hier geschädigt sind. Ihre Form ist nicht mehr rund oder oval, vielmehr erscheinen sie u n r e g e l m ä ß i g v e r z e r r t , mit strahlenförmigen Ausläufern; man hat den Eindruck, als wären sie geschrumpft oder zusammengebacken (SCHRIDDE). Diese Zellveränderung im Bindegewebe ist wie die Ausziehung der Zellkerne und der Zellen des Stratum germinativum in allen Fällen auffällig. Die B l u t g e f ä ß e s i n d s t e t s b l u t l e e r a n z u t r e f f e n . Erst außerhalb des Randes der Strommarke oder der Brandmarke s i n d s i e w i e d e r g e f ü l l t .

Ein besonders auffälliger Befund sind die V e r ä n d e r u n g e n d e s B i n d e g e w e b e s bei elektrischen und thermischen Verletzungen, d i e f a s t n u r i m p o l a r i s i e r t e m L i c h t e e r k e n n b a r s i n d . Die regelmäßige netzförmige Verknüpfung der Bindegewebsfibrillen ist dort, wo die Schädigung auf die Haut aufgetroffen ist, unterbrochen. Man sieht eine V e r g r ö ß e r u n g u n d A u f l o c k e r u n g der Struktur. Das feine Fibrillennetz ist i n e i n g r o b e s M a s c h e n w e r k u m g e w a n d e l t . Die Zwischenräume zwischen den Fibrillen sind vergrößert, die Fibrillen selbst erscheinen verdickt, man hat den Eindruck, als wären mehrere Fibrillen zu Bündeln zusammengelagert, sodaß ein grobes, lockeres Durcheinanderliegen dieser verdickten Faserbündeln entsteht. In der Literatur wurden Bindegewebsveränderungen im Zusammenhang

mit elektrischen Verletzungen beschrieben, und zwar von JELLINEK, MEIXNER und JENNY. Die Beschreibungen lauten dahingehend, daß das Bindegewebe stellenweise verbacken, verquollen oder verschmolzen sei, doch findet sich nirgends eine genauere Erörterung des Befundes. SCHRIDDE schreibt, daß er geschmolzenes und zusammengebackenes Bindegewebe bei Verbrennungen gesehen habe, die er mit einer glühenden Nadel einem Kaninchen beigebracht hat.

Wird beim Setzen der elektrischen oder thermischen Verletzung ein Druck auf das Gewebe ausgeübt, so sieht man nachher im histologischen Schnitt eine bandartige Schichtung der verdickten und vergrößerten Bindegewebsfasern parallel zur Oberfläche. Das Gewebe scheint auch an Volumen zugenommen zu haben. Die Gefäße sind in diesem Gebiet ausgepreßt, das Blut ist an den Rand der Veränderung verschoben; dort sind die Gefäße gefüllt, was man in manchen Fällen in Form eines hochroten Ringes makroskopisch sieht. Alle diese Veränderungen sind sehr gut zu erkennen und sind selbst in Fällen, in denen die elektrische oder thermische Verletzung so gering war, daß sie makroskopisch keinen und mikroskopisch im Stratum germinativum nur einen sehr unsicheren Befund liefern, so deutlich, daß es möglich ist, eine elektrische bzw. thermische Verletzung allein aus dem Befund im Bindegewebe zu lokalisieren. Es hat sich während der mikroskopischen Untersuchung der Schnitte als vorteilhaft erwiesen, bei schwachen Verletzungen die Präparate zuerst im polarisierten Licht zu betrachten.

3. Unterscheidungsmöglichkeiten für elektrische und thermische Verletzungen

Alle beschriebenen histologischen Veränderungen im Gewebe wurden regelmäßig sowohl bei elektrischen als auch bei thermischen Verletzungen gesehen. Aus diesem Grunde schließen wir uns der Meinung SCHRIDDES, KOEPPENS und GERSTNERS, daß sämtliche bei Strommarken angetroffenen Veränderungen durch Wärme bedingt sind, an.

JELLINEK glaubt, und dieser Meinung schließen sich KAWAMURA und MIEREMET an, daß die Zellveränderungen im Bereich von Strommarken durch elektrodynamische Wirkung zustandekommen und spezifisch elektrisch seien. Diese Meinung läßt sich nicht aufrecht halten und wird auch von SCHRIDDE und PIETRUSKY bezweifelt. Denn die im Gewebe auftretenden elektrodynamischen Kräfte, als deren Ursache die Feldwirkung des fließenden Stromes gedacht werden müßte, sind um viele Zehnerpotenzen zu klein, sodaß sie sicher nicht der Grund für irgendwelche Schädigungen sein können. Was JELLINEK unter elektromechanischen Kräften versteht, erklärt er an keiner Stelle, auch ist der Begriff in der Physik nicht gebräuchlich.

Vielmehr sind alle auftretenden Gewebsveränderungen auf die Wirkung der Wärme zurückführbar. Bei elektrischen Verletzungen ist es die in Joule'sche Wärme umgesetzte elektrische Energie. Obwohl also die Gewebsveränderungen bei elektrischen und thermischen Verletzungen ihrer Ursache nach qualitativ ähnlich sind, ist es doch möglich, Stromeintritts-

stellen von makroskopisch sehr ähnlich aussehenden Brandmarken zu unterscheiden. Hiermit stehen wir im Gegensatz zu der Meinung SCHRIDDES und GERSTNERS, die zwar richtig die Joule'sche Wärme als die Ursache der Gewebsveränderungen bei elektrischen Verletzungen erkannten, dann aber folgerten, man könnte, da in beiden Fällen Wärme die Ursache sei, keinen Unterschied zwischen thermischen und elektrischen Verletzungen finden. Man kann thermische und elektrische Verletzungen, abgesehen von dem oben beschriebenen makroskopischen Bild, das aber nicht in allen Fällen zuverlässig ist, unterscheiden, und zwar auf Grund der Form und des Ausmaßes ihrer Gewebsveränderungen. Diese Gewebsveränderungen, also die Ausziehung der Zellen und der Zellkerne im Stratum germinativum und ihre büstelförmige Anordnung sowie die Zellkernschädigung im Bindegewebe, sind bei thermischen Verletzungen stets auf die Stelle beschränkt, an der die Hitze direkt einwirkte, sie übergreifen also nie den Rand der Brandmarke. Im Bereich von Blasen werden allerdings Zellausziehungen angetroffen.

Bei elektrischen Verletzungen ist dies anders. Selbst bei schwachen Stromeintrittstellen (etwa ab 40 mA/mm^2), bei denen makroskopisch kaum Veränderungen bestehe, sind die feingeweblichen Veränderungen in der Hauttiefe ausgedehnter als die Veränderungen an der Hautoberfläche (KAWAMURA).

Deutlicher ist der Unterschied im Ausmaß der Schädigung, wenn man die Veränderungen im Bindegewebe betrachtet. Diese sind bei der thermischen Marke, wie man im

Polarisationsmikroskop sehen kann, unter der Aufliegefläche des heißen Gegenstandes flach tellerförmig ausgebreitet und überschreiten in ihrem Umfang nicht den Umfang der Aufliegefläche. Die Gewebsveränderungen nehmen also nach der Tiefe hin an Umfang und Stärke ab.

Bei der elektrischen Verletzung entsteht die Wärme in Form von Joule'scher Wärme im Gewebe selbst und muß nicht erst wie bei der thermischen Verletzung durch Wärmeleitung ins Gewebe gelangen. Der Strom breitet sich nach seinem Durchtritt durch die Haut gleichmäßig nach allen Seiten aus. Die aus der elektrischen Energie entstandene Joule'sche Wärme hat also dieselbe Verteilung wie der Strom. Auf Grund des Stromverlaufs haben die Gewebsveränderungen bei elektrischen Verletzungen eine andere Form als bei der Brandmarke. Die Veränderungen bei elektrischen Verletzungen greifen immer über den Rand der Elektrode hinaus und werden nach der Tiefe hin breiter, als sie an der Oberfläche sind. Das muß als wichtigstes Charakteristikum einer elektrischen Verletzung der Haut gewertet werden.

Natürlich sind diese Unterschiede in der Verteilungsform der Gewebsveränderungen nicht immer so deutlich, daß die Entscheidung, ob thermische Verletzung oder Verletzung durch elektrischen

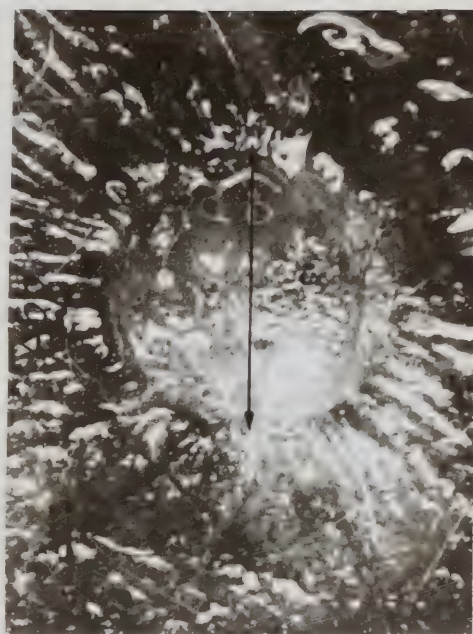
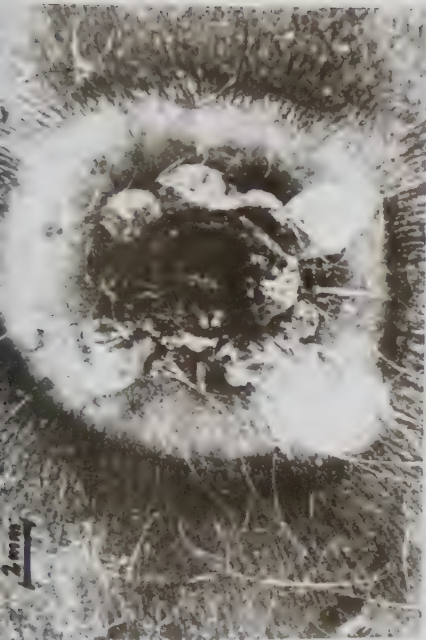


Abb. 7



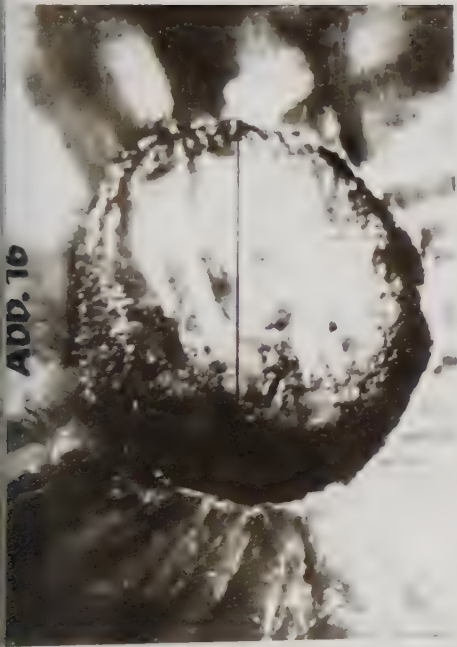


Abb. 18



— Vergleichsmaßstab

↔ Elektrodendurchmesser

→ Elektrodenbegrenze

Literaturverzeichnis

1. Alvensleben, K: Über elektrische Unfälle
Ref. Dtsch. Z. ges. ger.
Med. 33, 404, 1940
2. Beckmann, A: Gewebsverbrennung durch hohe Hitze. Klin. Wschr. 2,
743, 1923
3. Boruttau, H: Der Tod durch elektrischen
Starkstrom als Herztod.
Vjschr. gerichtl. Med., 58,
91, 1919
4. Boruttau, H: Der Mechanismus des Todes
durch elektrischen Stark-
strom und die Rettungsfrage.
Vjschr. gerichtl. Med. 55,
1, 1918
5. Bürgel, E: Über Knochenversetzung durch
elektrischen Unfall. Ref.
Dtsch. Z. ges. ger. Med.
36, 425, 1948/49
6. Fischer-Herget-
Molineus: Das ärztliche Gutachten im
Versicherungswesen. Joh.
Ambrosius Barth-Verlag
München 1955
7. Freiburger, H: Der elektrische Widerstand
des menschlichen Körpers
gegen techn. Gleich- und
Wechselstrom. Springer-
verlag, Berlin, 1934
8. Fritz, E: Eigenartige Befunde bei
Einwirkung elektrischen
Stromes gegen den Schädel.
Dtsch. Z. ges. ger. Med.

34, 117, 1941

9. Gerstner, H: Wärmemarken und histochemischer Metalle nachweis. Virchows Archiv f. Path. Anatomie 295, 691, 1935
10. Gildemeister, H: Elektrische Unfälle. Münchner Med. Wschr. 1, 351, 1941
11. Hofmann-Haberda: Lehrbuch der ger. Medizin. Urban u. Schwarzenberg-Verlag Berlin-Wien, 1927
12. Holzer, F.J.: Verschmörung unter Wasser bei einem Elektrounfall durch 220 V Wechselstrom. Dtsch.Z. ges. ger. Med. 44, 418, 1955
13. Ihde, H: Die Bedeutung der verschiedenen techn. Faktoren und der individuellen Widerstandskraft bei elektrischen Unfällen. Ref. Dtsch. Z. ges. ger. Med. 30, 380, 1938
14. Jakob, F.J.: Emissionsspektralanalyse als diagnostisches Hilfsmittel bei der Untersuchung von tödlich verlaufenden Elektrounfällen. Vortrag, gehalten, anlässlich der Tagung f. ger. u. soz. Med., Graz, 1960
15. Jellinek, S: Atlas der Elektropathologie und elektrische Unfallpraxis. Urban u. Schwarzenberg-Verlag, Berlin-Wien, 1909
16. Jellinek, S: Die Rekonstruktion der Entstehungsweise des elektrischen Unfalls. Beitr. ger. Med.

2, 174 (1914)

17. Jellinek, S: Klinische und forensische Aufgaben der Elektropathologie. Jahreskurse f. ärztl. Fortbildung, 9, 16, 1934
18. Jellinek, S: Atlas zur Spurenkunde der Elektrizität. Springer-Verlag, Wien, 1955
19. Jellinek, S: Die äußere Form der Strommarke. Dtsch. Z. ges. ger. Med. I, 196, 1922
20. Jellinek, S: Klin. und Histologische Bilder als poldifferente Stromeffekte. Wien, Klin. Wschr. 500, 1952
21. Jellinek, S: Der elektrische Unfall als seltenes biologisches Phänomen. Schweiz. Med. Wschr. 407, 1947
22. Jellinek, S: Elektrische Verletzungen. Joh. Ambrosius Barth-Verlag Leipzig, 1932
23. Jellinek, S: Spezifisch elektrische Zellveränderungen in geometrischer Gestaltung. Virchows Archiv f. path. Anatomie Heft 1/2, 301, 1938
24. Jenny, F: Der Elektrische Unfall. H. Huber Med. Verlag Bern, 1945
25. Kaplan, E: Dtsch. Z. ges. ger. Med. 17, 217, 1941

26. Kartagener, M: Spätschäden am Herzen nach elektrischen Unfällen. Ref. Dtsch. Z. ges. ger. Med. 27, 90, 1937
27. Kawamura, I: Elektropathologische Histologie. Virchows Archiv f. path. Anatomie. 231, 570, 1921
28. Kervan, O: Eingrenzung der für den Menschen gefährlichen Wechselspannungen. Ref. Dtsch. Z. ges. ger. Med. 33, 377, 1940
29. Klein, H: Gerichtsmedizinische Diagnose d. Stromtodes. Dtsch. Z. ges. ger. Med. 47, 29, 1958
30. Koeppen, S: Der elektrische Unfall und seine Folgen. Med. Klin., 49, 97 und 133, 1954
31. Koeppen, S: Bericht über den 8. internationalen Kongress f. Unfallmed. u. Berufskrankheiten. Ref. Dtsch. Z. ges. ger. Med. 32, 197, 1939/40
32. Koeppen, J.S. Untersuchungen über elektrische Strommarken im Vergleich zu experimentell erzeugten Wärmeverletzungen d. Haut. Virchows Arch. f. path. Anat. 295, 679, 1935
- u.Gernster, H:
33. Kogon, A.I: Analyse der elektrischen Hautschädigungen. Ref. Dtsch. ges. ger. Med. 34, 51, 1941

34. Kratter, J: Tod durch Elektrizität.
Vjschr. gerichtl. Med. 31,
217, 1906
35. Kratter, J: Lehrbuch der ger. Medizin.
F. Enke-Verlag, Stuttgart,
1912
36. Langer, G: Über Schädelverletzungen
durch elektrischen Strom.
Beitr. z. Kl. Chirurgie, 96,
179, 1914
37. Lommer, E: Gerichtliche Medizin. En-
gel-Verlag, Berlin 1952
38. Meixner, K: Von Verbrennungen durch
elektrische Hochspannungen.
in Forschung und Forscher
der Tiroler Ärzteschule.
Med. Fak. Innsbruck 1945-
1947
39. Mieremet, C.W.G: Hautveränderungen durch
Einwirkung von elektrischem
Strom, ihre differenzialdi-
agn. Bedeutung und ihr hi-
stologisches Bild. Kl.
Wschr. 2, 1362, 1923
40. Morhardt, P.E: Unglücksfälle durch Elektri-
zität. Ref. Dtsch. Z. ges.
ger. Med. 34, 50, 1941
41. Müller, B: Gerichtliche Medizin,
Springer-Verlag, Berlin 1943
42. Neureiter, F: Handwörterbuch der gericht-
Pietrusky, F: lichen Medizin. Springer-
Schütt, E: Verlag, Berlin 1910
43. Pietrusky, F: Die nach Einwirkung techn.

- Elektrizität beobachteten
path.-anat. Veränderungen.
Dtsch. Z. ges. ger. Med. 29,
135, 1938
44. Ponsold, A: Lehrbuch der Gerichtsmedizin.
Thieme-Verlag, Stuttgart 1950
45. Riehl, G: Die Spuren des elektrischen
Stromes in der Haut. Münch-
ner Med. Wschr. 1119, 1923
46. Schmittmann, A: Handbuch der Ger. Medizin.
A. Hirschwald-Verlag, Berlin
1907
47. Schridde, H: Die angeborene thymische Kon-
stitution. Münchner Med.
Wschr. 71b, 1533, 1924
48. Schridde, H: Der elektrische Stromtod.
Klin. Wschr. 2143, 1925
49. Schridde, H. u. Die elektrische Verletzung.
Alvensleben, K : in König und Magnus Handbuch
f. ges. Unfallheilkunde,
Stuttgart 1931
50. Schwerd, W: Über Ausbildung v. Strommar-
ken bei der Einwirkung von
Elektrizität ins Wasser.
Vortrag anl. der Tagung der
Deutsch. Gesellschaft für
ger. u. soziale Medizin, Zü-
rich, Sept. 1958
51. Sette, N: Beitrag zum Studium der Path.-
anat. Befunde beim Tod durch
Elektrizität. - Ref. Dtsch Z.
ges. ger. Med. 34, 50, 1941

52. Wakabajaschi, T: Über den Verlauf schwachen
Stromes durch den menschli-
chen Körper.
Ref. Dtsch. Z. ges. ger.
Med. 34, 22, 1941

An dieser Stelle danke ich Herrn Priv.-Doz.
Dr. Gg. S c h m i d t für die Überlassung
des Themas und für die jederzeit freundlich
gewährte Hilfe.

Herrn Prof. Dr. Dr. E. W e i n i g danke
ich für die Unterstützung bei der Durchfüh-
rung der Arbeit.

Lebenslauf

Als vierte Tochter des Arztes Dr. med. Karl Wagner und seiner Ehefrau, der Ärztin Dr. med. Gertrud Wagner, geb. Brendler, wurde ich am 12.1. 1936 in Nürnberg geboren.

Von 1942 bis 1945 besuchte ich Volksschulen in Nürnberg und Dresden.

1946 trat ich in das Städt. Mädchenrealgymnasium in Nürnberg ein.

1948 bis 1954 besuchte ich das Realgymnasium der Wilhelm-Löhe-Schule Nürnberg.

1954 bis 1955 war ich Internatsschülerin der Urspringschule/Schelkingen, an der ich am 22.3.1955 die Reifeprüfung ablegte.

Ab SS. 1955 studierte ich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Medizin.

Im SS. 1957 bestand ich die ärztliche Vorprüfung in Erlangen.

Vom WS. 1957/58 bis SS 1960 war ich an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität zu München immatrikuliert.

Am 20.12.1960 legte ich das Medizinische Staatsexamen in München ab.

